This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

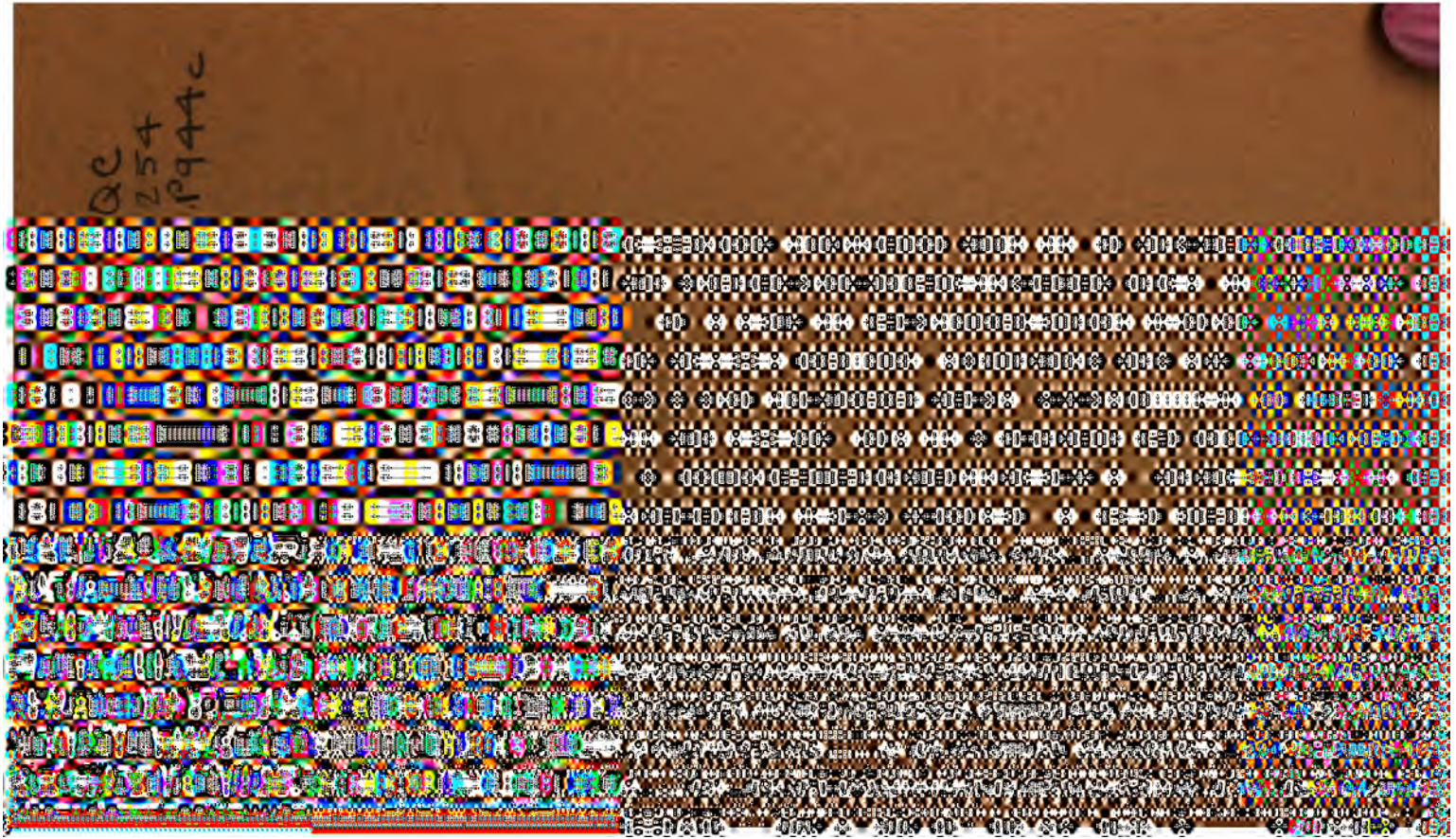
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

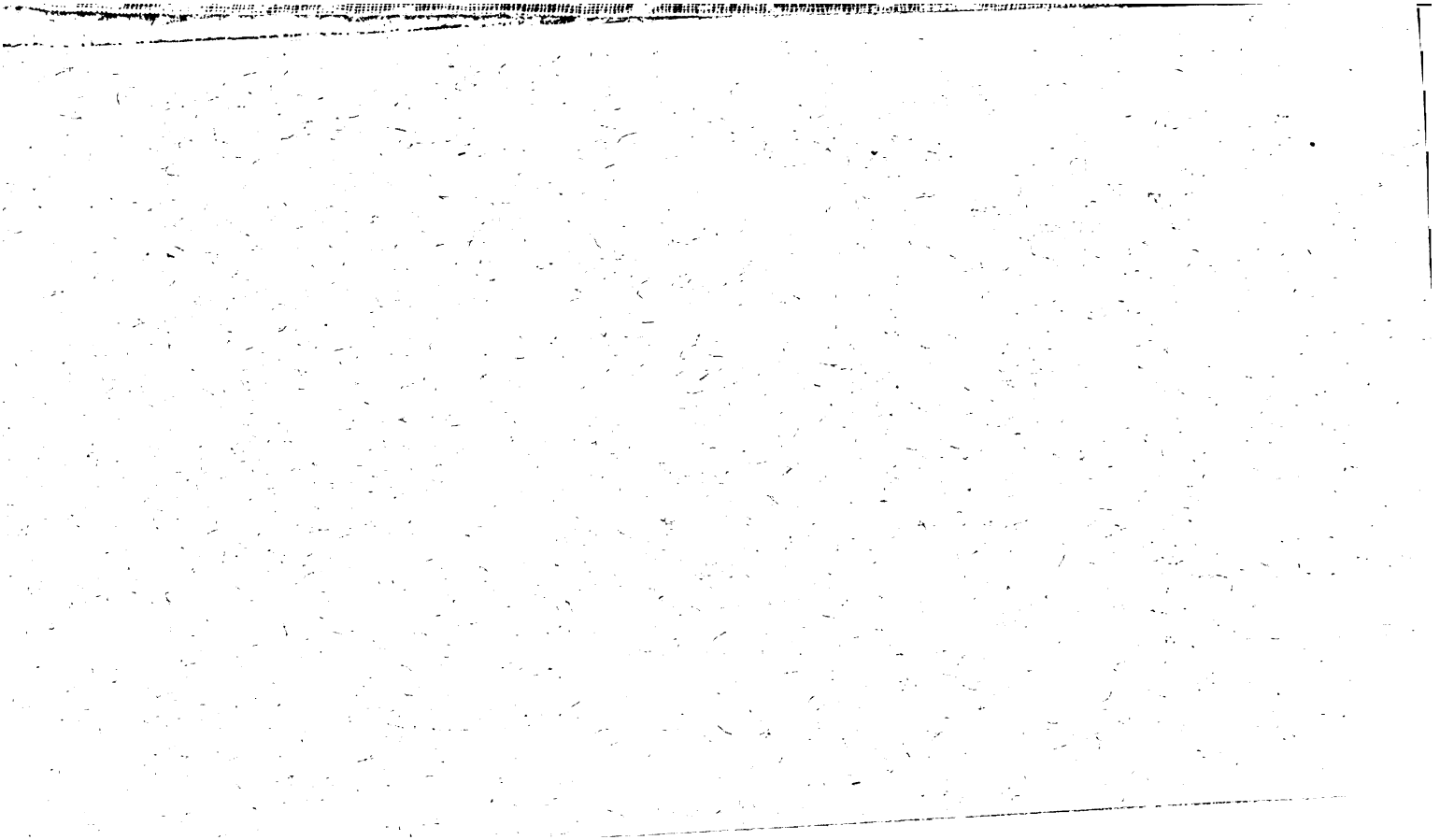
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


QC
254
.P944c



...MENTI...

...RO-MOTRICE

...SOSTANZE

...APOLI
...NTO TIPOGRAFICO COSTER
1845.

QC
254
.P944

DU CALORIQUE RAYONNANT.

OUVRAGES ET TRADUCTIONS du même auteur qui se trouvent chez le même Libraire.

Élémens de la Philosophie de l'esprit humain, par M. DUG. STEWART, professeur de Philosophie morale à l'Université d'Édimbourg, de la Société Royale d'Édimbourg, de diverses Sociétés savantes, traduit de l'anglois par le même, 2 vol. in-8.° 9 fr.

DE LA DISETTE, par B. BELL, de la Société royale d'Édimbourg, des Sociétés d'Agriculture d'Écosse et de Bath, trad. de l'anglois par le même, vol. in-8, Genève, 1804. 2 f. 50 c.

Essais de Philosophie, ou étude de l'esprit humain. I.er Essai : Analyse des facultés de l'esprit humain. II.e Essai : Logique. Par le même : suivi de quelques opuscules de G. L. Le Sage, corresp. de l'Acad. des Sc. et de l'Inst. nat. etc., 2 vol. in-8, 1805, 7 f. 50 c.

Notice sur la vie et les écrits de George-Louis Le Sage de Genève, membre de diverses académies, de la Société royale de Londres, et ci-devant de celle de Montpellier; correspondant de l'académie royale des sciences de Paris, et depuis correspondant de l'Institut national de France, rédigée d'après ses notes par P. Prevost, suivie d'un opuscule de Le Sage sur les *Causes finales*, du *Lucrèce neutonien*, d'extraits de sa correspondance avec divers savans et personnes illustres, telles que le duc de la Rochefoucauld, madame la duchesse d'Enville, madame Necker, d'Alembert, Bailly, Clairaut, La Condamine, Stanhope, Euler, Lambert, Ch. Bonnet, Boscowich, et d'un extrait de la correspondance de Bachet de Méziriac avec Nathan d'Aubigné, trisaïeul de Le Sage, vol. in-8 de 600 pages 1805 6 fr.

ESSAI SUR LE PRINCIPE DE POPULATION, ou Recherche de l'influence de ce principe sur le bonheur de l'espèce humaine dans les tems anciens et modernes, suivie de l'examen des moyens propres à adoucir les maux dont ce même principe est la cause, et du tableau des espérances que l'on peut concevoir à ce sujet. Par T. R. MALTHUS, maître-ès-arts, associé du collége de Jésus à Cambridge, professeur d'histoire et d'économie politique au collége des Indes Orientales dans le Comté d'Hertford, trad. de l'anglois, 3 vol., in-8, 12 fr.

A.
de
la
oy.
&c.

AVERTISSEMENT.

L'OBJET de cet écrit est d'exposer la théorie du calorique rayonnant, et d'en faire l'application à quelques phénomènes. Cette théorie, telle que l'auteur l'a conçue et proposée il y a plus de dix-huit ans, a obtenu l'approbation de plusieurs bons juges. Mr. l'abbé Haüy l'a adoptée dans la seconde édition de son Traité élémentaire de physique. Et depuis qu'elle a été publiée, elle a semblé jeter du jour sur une classe de faits aussi nombreux qu'intéressans. Il est donc tems peut-être de la discuter et de la développer, autant que le permet l'état actuel de nos connoissances.

L'auteur sent à cet égard son insuffisance, et invoque le secours des hommes à qui la science a dû ses plus grands progrès. Il n'envisage son travail que comme un premier effort, destiné à pré-

parer la voie, qui lui paroît conduire à une mine riche et de facile exploitation.

Indépendamment de ces développemens de théorie, les physiciens trouveront rassemblées dans cet écrit des observations dignes de leur attention; entr'autres celles de Mr. Leslie. La partie de l'ouvrage de ce physicien sur la chaleur, qui est à la fois purement expérimentale et exclusivement relative au rayonnement, est traduite ici en entier. Elle n'est encore connue en France que par de simples extraits, qui, bien qu'excellens, ne suffisent pas entièrement peut-être à ceux qui veulent répéter les expériences, ou en suivre tous les détails.

Quant aux faits connus, qui se trouvent ici reproduits; s'ils sont liés entr'eux par une théorie claire, ils offriront peut-être un nouveau sujet de réflexion.

NOTA. 1. *Dans les morceaux de traduction que j'ai insérés occasionnellement dans cet ouvrage, j'ai distingué mes notes marginales par les lettres initiales P. P. p.*

2. *Les lecteurs trop occupés pour lire de suite l'exposé de ma théorie en trouveront un court résumé dans la section IX.*

3. *Après cette même section IX, j'ai placé un avertissement particulier, relatif aux sections suivantes.*

Empirici, formicæ more, congerunt tantum et utuntur. Rationales autem, aranearum more, telas ex se conficiunt. Apis ratio media est, quæ materiam ex floribus tam horti quam agri elicit, sed simul etiam eam propria facultate vertit et digerit. Neque absimile veræ philosophiæ opificium est, quæ ex historia naturali et experimentis mechanicis præbitam materiam, non in memoria integram, sed in intellectu mutatam et subactam reponit.

BACON, *Impetus philos.* (Works, London, 1803. T. IX, p. 294.)

Batho
Southern
8-19-25
11954

DU CALORIQUE RAYONNANT.

INTRODUCTION.

CHAPITRE PREMIER.

Que le calorique rayonne.

§. 1. On ressent les impressions de la chaleur à quelque distance. Ce phénomène est si connu, qu'il est inutile de le prouver par des expériences faites directement dans ce but.

Scheele est, je crois, le premier qui se soit appliqué à discuter ce phénomène. Mais ce grand chimiste n'y a pas appliqué les mesures thermométriques. Ce qu'il a dit là-dessus se trouve aux §§. 55. 56. 57. de son *Traité de l'air et du feu.* Il observe que la fumée monte devant un feu dont la chaleur se fait sentir à dix pieds de distance; que l'air agité n'empêche pas cette émission de chaleur; qu'un carreau de verre l'intercepte sans intercepter

la lumière ; que le verre réfléchit la lumière seulement *, mais que le métal poli réfléchit la lumière et la chaleur ; qu'un miroir métallique concave brûle sans s'échauffer, mais qu'enduit de suie il s'échauffe. De ces faits et de quelques autres de moindre importance, cet observateur concluoit que la chaleur, qui s'élève dans le poële avec l'air, et qui s'envole par la cheminée, est différente de celle qui s'élance par la porte du poële dans la chambre. Mais ce n'est pas à cette dernière remarque, ni à celle par laquelle Scheele s'efforce d'expliquer cette différence, que nous devons nous arrêter ici. Les faits relatifs au rayonnement de la chaleur sont le seul objet qui doit nous occuper. Et sur cet objet Scheele ne nous apprend rien de plus.

Mr. Herschel a fait voir, par une suite de belles expériences **, que les rayons calorifiques sont susceptibles de réfraction et de réflexion.

La réflexion de la chaleur a été connue dès long-tems ; et non-seulement la réflexion de

---

* On verra ci-dessous que cette assertion est inexacte (§. 148.).

** Trans. phil. pour 1800.

la chaleur lumineuse, mais aussi celle de la chaleur obscure *.

Il restoit un doute à cet égard. On pouvoit croire que l'air étoit, dans ces expériences, le seul véhicule de la chaleur. Quoique cela fût bien improbable, par la nature même des faits, il importoit que ce doute fût dissipé. Mr. le C. de Rumford a démontré que le rayonnement s'exécute dans le vide. Son appareil, aussi simple qu'ingénieux, consiste en un petit ballon de verre, au centre duquel est la boule d'un thermomètre. Le ballon étant vidé d'air et plongé ensuite dans l'eau bouillante, l'observateur a vu le thermomètre monter, et accuser l'échauffement produit à travers le vide.

Quoiqu'en ce cas particulier, l'ascension de cet instrument soit graduelle; le rayonnement est rapide et comme instantanée. Mr. Pictet a fait voir que le calorique parcourt vingt-trois mètres dans un instant sensiblement indivisible **.

---

* Pyrométrie de Lambert, §. 378.

** Essai sur le le feu, §. 64.

CHAPITRE II.

Que la chaleur se propage de deux manières.

§. 2. INDÉPENDAMMENT de cette voie de rayonnement, la chaleur se propage par voie de conductibilité. On dit que la chaleur est *conduite*, lorsque le calorique passe de proche en proche d'une particule d'un corps à la particule voisine. Cette manière de cheminer est lente et irrégulière; le calorique serpente d'une masse à l'autre avec difficulté.

C'est ainsi qu'en chauffant l'extrémité d'une barre métallique de longueur déterminée *, on parvient insensiblement à échauffer l'extrémité opposée.

De savans physiciens se sont occupés de la propagation de la chaleur par voie de conductibilité **.

La manière de conduire la chaleur, qui est propre aux solides, n'est pas exactement la

* Mr. Biot a démontré qu'il est impossible de chauffer d'un degré l'extrémité d'une barre de fer de 2 mètres ou six pieds de longueur en la chauffant par l'autre bout, car elle se fondroit auparavant. *Bibl. brit. T. XXVII. p. 315.*

** Biot.

même, que celle qui est propre aux liquides et aux fluides. Ceux-ci ne la conduisent presque que par un déplacement des particules dont ils sont composés *. C'est par de petits courans, qu'ils conduisent la chaleur.

Je ne fais ces remarques, que parce qu'en traitant du calorique rayonnant, on rencontre à chaque instant des faits qui appartiennent à la conductibilité; et qu'il est par conséquent indispensable d'en faire mention. D'ailleurs je ne m'occuperai de ce sujet, qu'autant qu'il sera nécessaire pour éclairer celui que j'ai entrepris de traiter **.

CHAPITRE III.

Des différens états du calorique.

§. 3. Le calorique est ou latent ou développé.

Il y a lieu de croire que les corps contiennent beaucoup de calorique à l'état latent. On peut concevoir du calorique latent combiné avec d'autres élémens; et du calorique latent sans être combiné.

* Rumford.

** Voyez à la fin la note A.

La quantité de calorique latent contenue en divers corps n'est pas la même.

Le calorique développé se manifeste par la dilatation qu'il opère dans les corps, et que mesure le thermomètre.

Tout ce vaste sujet est comme étranger à l'objet de cet ouvrage.

Le calorique est libre ou gêné. Il est gêné dans l'intérieur des corps.

CHAPITRE IV.

Questions relatives à nature du calorique.

§. 4. Le mot *calorique* a été inventé pour signifier la cause de la chaleur, avec l'intention, formellement exprimée, de ne rien prononcer sur sa nature *. On a voulu laisser indécis si la chaleur étoit produite par un fluide particulier, ou seulement par un mouvement imprimé aux molécules des corps, sans l'introduction d'aucun fluide.

Plusieurs grands physiciens pensent qu'il n'y a aucun fluide particulier auquel ce mot

* Traité élém. de chimie par Lavoisier, 2.de edit. Paris, 1793. T. I. p. 5.

calorique soit applicable. Ils croient que la chaleur est produite par les mouvemens intestins des molécules des corps. Le plus souvent cependant ces physiciens ont recours à un éther oscillant, ou à l'air, ou à quelque autre milieu, propagateur des ondes auxquelles ils attribuent les phénomènes de la chaleur.

D'autres croient que le calorique est un fluide particulier, qui pénètre dans les corps et produit toutes les apparences de ce genre.

Parmi ces derniers, plusieurs croient que le calorique et la lumière sont identiques. D'autres sont d'avis contraire. Quelques-uns envisagent le calorique comme simple, un plus petit nombre en font un fluide composé. Mr. J. A. Deluc croit que le calorique est une espèce de vapeur, composée d'une matière pesante tenue en état de suspension par la lumière *. Cette conception jette du jour sur plusieurs phénomènes et mérite d'être soumise à un sérieux examen. Cependant, pressé d'arriver à l'objet principal que j'ai en vue, je m'abstiendrai de toute discussion sur la composition du calorique.

Je ne veux point non plus reproduire ici et peser les argumens généraux apportés de part

* Idées sur la météorologie, T. I. p. 109.

et d'autre pour soutenir les diverses opinions, dont je viens de faire le tableau *. Je me bornerai à un très-petit nombre de remarques à ce sujet.

§. 5. On verra ci-dessous (§. 10.) que je propose de concevoir le calorique comme un fluide particulier. Je représenterai le rayonnement de ce fluide comme une émission, et jamais comme une ondulation. Je crois cette conception et cette représentation plus conformes qu'aucune autre à la nature des choses, et fondées sur les principes les plus sains de la physique générale. Mais si ceux qui pensent autrement substituoient des ondes à une émission, ils réussiroient peut-être à adapter à leur opinion les explications que je donne des phénomènes de cette classe. Je ne souhaite pas qu'ils l'entreprennent, parce que je suis persuadé que ce seroit traduire un langage clair et naturel en un langage obscur et artificiel. Mais j'en fais la remarque pour annoncer clairement le genre de travail que j'ai entrepris. Je ne combattrai aucun système; je ne réfu-

* Mr. Fr. Paulet, élève de l'école imp. polytechnique, a rassemblé et discuté quelques-uns de ces argumens, dans une *Dissertation sur le feu*, publiée à Lausanne en 1807.

terai aucune explication. J'ai dessein, en me renfermant dans mon sujet, d'expliquer moi-même à ma manière ce qui me paroîtra clairement explicable, et d'indiquer les phénomènes dont l'explication reste imparfaite. Si chacun de ceux qui ont une opinion sur la théorie du calorique exposoit bien nettement ses conceptions à ce sujet, et faisoit voir comment au moyen de telles conceptions les faits se trouvent co-ordonnés; les physiciens verroient d'un coup-d'œil laquelle de ces théories est la plus satisfaisante, ou si toutes sont à rejeter.

§. 6. Entre plusieurs objections proposées contre l'opinion de ceux qui font du calorique un fluide particulier, je n'en releverai que deux.

1.re *Objection*. On a dit que ceux qui font du calorique un corps doivent le faire pesant; et que cependant les expériences les mieux faites n'ont permis de reconnoître aucune pesanteur dans le calorique.

Cette objection n'a pas beaucoup de force. 1.° De ce que nos instrumens les plus parfaits n'ont pu découvrir une telle qualité dans un fluide subtil, on auroit tort d'en conclure qu'elle n'existe pas. 2.° Ceux qui auront médité le système du calorique composé de Mr. J. A. Deluc, ne seront pas éloignés d'attribuer quelque

pesanteur à l'un de ses élémens, sans rien prononcer sur l'autre. 3.° Aucune raison que je sache n'oblige à attribuer la pesanteur à toute la matière. Si un corps étoit composé de parties liées entr'elles, dont quelques-unes, quoique suffisamment massives pour devenir sensibles, fussent néanmoins exemptes de pesanteur; les phénomènes du pendule attesteroient cette anomalie. Mais qu'un fluide subtil, composé de parties séparées les unes des autres et sans adhérence à d'autres corps, soit destitué de pesanteur; ce moyen de le découvrir seroit insuffisant. Si l'on suppose même que le fluide non-pesant adhère aux autres corps, mais qu'il soit d'une grande ténuité, il pourra se faire qu'aucun phénomène terrestre ou céleste ne décèle la présence d'une matière aussi subtile, et ne révèle à l'observateur cette légère violation de la loi, qui porte, que la pesanteur est proportionnelle aux masses. Je prie qu'on veuille bien remarquer que je ne dis point que le calorique est destitué de pesanteur. Je dis seulement qu'il est permis de rester à cet égard dans l'ignorance; ce qui suffit pour détruire l'objection. 4.° Le calorique, ainsi que nous le reconnoîtrons, se présente comme doué de propriétés analogues à celles de la lumière. Celle-ci a été envisagée comme un corps par

Newton et par ses disciples, quoiqu'on ne l'ait jamais pesée *.

2.de *Objection.* On a argumenté des effets du frottement, pour nier l'existence d'un calorique matériel. Le frottement paroît une source inépuisable de calorique.

On a déjà fait à cette objection quelques réponses. Je me contenterai d'observer ici que la chaleur produite par la compression de l'air, et par l'écrouissement des métaux, atteste dans

---

* Cette comparaison pourroit être pressée sous d'autres points de vue. Newton a rapporté les principaux phénomènes de la réfraction et de la réflexion aux lois de l'attraction. Et très-récemment Mr. La Place a expliqué par ces même lois la grande anomalie qu'offre la réfraction opérée par certains cristaux diaphanes. Je n'entends pas comment ceux qui admettent ces explications peuvent demeurer flottans entre le système de l'émission et celui de l'ondulation. (Voyez à la fin la note B.) Or si l'on se détermine en faveur du premier, quant à ce qui concerne la lumière, on aura une raison d'analogie en faveur de l'émission du calorique; quoique je convienne d'ailleurs que cette raison seule ne suffiroit pas pour entraîner l'assentiment. On aura donc à examiner par rapport au calorique, auquel de ces deux systèmes les phénomènes se rapportent le plus naturellement. C'est la disposition dans laquelle il me seroit bien agréable d'espérer que seront ceux de mes lecteurs dont j'ambitionne le suffrage.

les corps la présence d'une quantité considérable de calorique, indépendamment de celui qui sert à entretenir la liquidité ou la fluidité. On ne sait point quelle est la densité de ce calorique qui sature tous les corps. On ignore avec quelle vitesse il est remplacé, lorsqu'on leur en enlève quelque partie. On n'est donc pas fondé à opposer comme une objection, un phénomène qui peut bien dépendre de ces circonstances cachées, jusqu'ici hors de la portée de nos instrumens *. Il est à désirer que l'on multiplie et que l'on varie les expériences qui pourroient jeter du jour sur ce sujet. Du reste, je ne veux point sortir de celui que j'ai entrepris, qui est uniquement d'expliquer les phénomènes du calorique rayonnant au moyen d'une théorie claire.

---

* Voyez à la fin la note C.

CHAPITRE V.

Remarque historique.

§. 7. DAN. Bernouilli, dans la 10.ème section de son Hydrodynamique, suppose que l'air est un fluide discret, dont les élémens sont agités. Au moyen de cette supposition, il explique la loi de Mariotte et en général les lois de l'équilibre et des mouvemens de l'air atmosphérique.

Avant d'avoir connoissance de cet ouvrage, feu G. L. Le Sage de Genève étoit parvenu, de méditation en méditation, au même résultat. Il avoit même conçu ce sujet d'une manière beaucoup plus étendue; et avoit fait une théorie des fluides discrets, beaucoup plus pleine qu'aucune de celles que l'on avoit tentées avant lui. Sa manière d'envisager la constitution naturelle des corps l'avoit engagé dans cette recherche. Il concevoit les fluides discrets comme étant agités. Il assignoit des causes à cette agitation. Et au nombre de ces causes quelques-unes donnoient l'idée d'une multitude de corps élémentaires isolés, mus en ligne droite d'une manière indépendante, avec des vitesses très-grandes, égales, et dirigées en toutes sortes de sens.

Il y avoit long-tems que je connoissois ces conceptions de Dan. Bernoulli et de G. L. Le Sage. Il y avoit long-tems que j'étois accoutumé à les appliquer au calorique (ou, comme on disoit alors, au feu), lorsqu'en 1791 parut l'*Essai sur le feu* de Mr. Pictet, où se trouve consignée sa belle expérience de la réflexion du froid. Mr. de Végobre * m'ayant fait remarquer que ce phénomène n'étoit pas expliqué, je m'en occupai et lui appliquai la théorie du feu que j'adoptois habituellement. Envisageant donc le feu comme un fluide discret, je tâchai de me faire une idée juste de ce qui se passoit dans la nature, et que les physiciens représentoient par les mots de *tension* et autres analogues. Je tombai ainsi dans la notion de l'équilibre mobile; et je n'eus pas de peine à voir, que de cette notion dérivoit nettement l'explication de la réflexion du froid. J'exposai cette explication dans un mémoire intitulé *De l'équilibre du feu*, que j'envoyai au Journal de Physique, où il a été inséré en Avril 1791. La facilité, et la parfaite netteté, avec laquelle cette théorie expliquoit un phénomène, inexplicable sans elle, me frappèrent et m'engagèrent à en faire de nouvelles appli-

* C'est le même physicien qui a donné depuis une excellente traduction des *Conversations sur la Chimie*.

cations. Je publiai en 1792 mes *Recherches sur la chaleur* *. En plus d'une occasion, je crus voir que, faute de connoître et d'employer ces principes, les meilleurs physiciens donnoient des explications imparfaites de phénomènes que la théorie de l'équilibre mobile pouvoit seule expliquer. Je publiai, à différentes époques, quelques mémoires suggérés par des remarques de ce genre ; en particulier des *Réflexions sur la chaleur solaire, occasionnées par un mémoire du P. Cotte*, insérées dans le Journal de Physique de Février 1793 ; et des *Remarques sur la chaleur et sur l'action des corps qui l'interceptent*, insérées dans les Transactions philosophiques de la Société Royale de Londres pour 1802 **. Ce dernier mémoire fut occasionné par quelques expériences fort curieuses de Mr. Herschel. Enfin les expériences de Mr. le C. de Rumford, contenues dans ses *Recherches sur la nature de la chaleur et sur la manière dont elle se propage*, ayant été publiées dans la Bibliothèque britannique avant de l'être séparément,

* Une partie de ces recherches sera reproduite dans cet écrit.

** Ce mémoire a été extrait dans les Annales de chimie, et c'est par erreur que, dans la Table de ce recueil, on l'a attribué à mon parent Bénédict Prevost.

j'inserai dans ce même recueil trois mémoires successifs, dont les deux premiers sont intitulés, *Considérations sur les nouvelles recherches du Comte de Rumford relatives au mode d'action du calorique*, et le troisième, *Résumé des considérations sur le mode d'action du calorique* *.

§. 8. Cette note historique n'est nullement destinée à maintenir mon droit de propriété sur la théorie que j'expose ; car outre que ce seroit un objet de peu d'intérêt, ce droit a été reconnu par plusieurs physiciens justement célèbres **. Mais il m'a paru convenable de faire voir que la théorie de l'équilibre mobile, et ses nombreuses applications à la chaleur rayonnante, ne sont rien moins « qu'une hypo- » thèse imaginée pour expliquer une expérience » unique, ou pour éclaircir un fait nouveau, » comme a paru le supposer un grand physicien ***.

Cette expérience unique, ce fait nouveau;

---

* Bibl. brit. T. XXVI. p. 13, 205, 309.

** Je nommerai en particulier ici avec reconnoissance Mrs. Pictet et Haüy. Et il me seroit facile de citer des savans étrangers, qui en ont usé de même.

*** Mémoires sur la chaleur par le C. de Rumfort, Paris, 1804, p. 118.

comme

l'expérience de Mr. Pictet, la réflexion du froid ; me forcèrent à tirer des conséquences nouvelles, et applicables à ce fait, à cette expérience, d'une théorie avec laquelle j'étois dès long-tems familiarisé.

§. 9. Aussi la théorie du calorique discret et agité, qui a engendré celle de l'équilibre mobile, m'a-t-elle fourni successivement une explication nette et satisfaisante d'un grand nombre de phénomènes, que d'autres théories laissent absolument inexpliqués. Telle est entr'autres la loi des changemens de température d'un corps plongé dans un milieu de température différente. Cette loi si claire, si déterminée, si bien reconnue expérimentalement, n'a été, je crois, expliquée, c'est-à-dire, ramenée à la théorie, que depuis qu'on a fait emploi de la théorie de l'équilibre mobile. Et sans accumuler ici les exemples, j'ose espérer que cet ouvrage en fournira plusieurs, et inspirera quelque confiance pour une théorie qui comprend dans son enceinte une classe de phénomènes aussi étendue *.

* Voyez à la fin la note D.

SECTION PREMIÈRE.

EXPOSITION DE LA THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE MOBILE.

On peut exposer une théorie en la mêlant à la relation des faits, et l'introduisant imperceptiblement avec eux. On peut aussi l'en séparer, en la présentant sous la forme d'une simple hypothèse. Je préfère cette dernière méthode ; afin que, sur cette exposition, le lecteur puisse juger, si les conditions de l'hypothèse sont claires, et si elles sont d'accord entr'elles et avec les principes généraux de la physique. Je passerai ensuite à l'explication des faits par la théorie.

CHAPITRE PREMIER.

Constitution du calorique.

§. 10. *Le calorique est un fluide discret. Chacun des élémens de ce fluide* est très-petit par comparaison à la distance qui les sépare les uns des autres. Chacun aussi *est doué d'une vitesse très-grande* et sensiblement infinie. Leurs directions sont diverses. Chacun suit

constamment la même ligne droite, tant qu'aucun obstacle ne l'arrête. Mais l'un va d'un côté, l'autre de l'autre.

Ces élémens se rencontrent très-rarement: en sorte que toutes les directions se croisent sans se nuire.

Ils sont si nombreux que, dans un espace libre et chaud, on peut dire qu'il n'y a point de direction selon laquelle ne se meuvent une multitude d'élémens calorifiques. Cela n'est sans doute vrai que sensiblement; puisque, par exemple, deux directions contraires, sur la même ligne, ne pourroient avoir lieu, dans la rigueur mathématique, sans qu'il y eût des chocs. Mais il suffit que ces élémens soient très-petits, et la ligne sensible suffisamment épaisse, pour que l'assertion n'ait rien de choquant.

Il en résulte que si, *dans un espace libre* et chaud, on considère *un point quelconque;* on pourra dire, que ce point *est un centre,* auquel tendent, et duquel partent, en tout sens, des filets d'élémens calorifiques.

Et comme la vitesse de ces élémens est sensiblement infinie, on peut dire encore que, quelque petit que soit un tems sensiblement fini, le point ou centre en question enverra et recevra, pendant ce tems-là, des élémens

de calorique, selon toutes les directions que l'on peut tracer ou feindre.

J'ajoute enfin que le calorique est susceptible d'être réfléchi, peut-être aussi réfracté, à peu près comme la lumière.

CHAPITRE II.

Remarques sur les explications déduites de cette constitution.

§. 11. TELLE est la constitution que j'assigne au calorique, et au moyen de laquelle je me propose d'expliquer les phénomènes observés, qui dépendent du rayonnement.

Une partie des faits s'explique, sans aucune addition ou détermination ultérieure. Une partie s'explique au moyen de quelques nouvelles déterminations.

Dans la constitution du calorique, telle que je viens de l'exposer, il y a fort peu de déterminations. 1.° Je ne détermine rien sur la figure, et sur les propriétés, chimiques ou autres, des élémens du calorique. 2.° Je ne détermine que très-vaguement leur grandeur et leur mouvement. Nous savons seulement qu'ils sont très-petits et très-rapides; ce qui

laisse un nombre infini de degrés indéterminés. 3.° C'est par raison de simplicité, que je détermine leurs directions et que je les fais exactement rectilignés. Les phénomènes nous les présentent telles sensiblement; mais il y a souvent un grand intervalle entre les choses sensibles et les choses réelles. 4.° Je suppose l'égalité entre le nombre des élémens qui se meuvent en diverses directions. Aucun phénomène ne nous engage à supposer cette égalité rigoureuse.

Puis donc que la constitution assignée ici laisse bien des choses indéterminées, on ne pourra pas s'étonner que des faits subséquens introduisent un petit nombre de déterminations nouvelles.

On voudra bien considérer encore que les faits de la nature étant fort compliqués, il ne peut manquer d'arriver quelquefois que l'analyse en soit trop difficile pour être bien faite à l'époque où on l'entreprend. La science peut n'être pas assez avancée; les faits peuvent être encore imparfaitement étudiés; enfin celui qui discute ces faits peut manquer de plusieurs des moyens nécessaires pour obtenir le succès désiré. Une théorie ne peut se perfectionner que par le travail d'un grand nombre d'hommes occupés à la vérifier.

CHAPITRE III.

État du calorique à la surface des corps.

§. 12. DANS l'intérieur d'un corps solide, et probablement aussi dans l'intérieur d'un liquide, le calorique ne peut se mouvoir librement. Il est gêné, il serpente de particule à particule, il est *conduit* d'une place à l'autre et ne rayonne point.

Insensiblement quelques-uns de ces élémens gagnent la surface des corps. Là ils redeviennent libres et commencent à rayonner. S'ils sont dans le vide; ce rayonnement s'exécute sans gêne. S'ils sont dans l'air, le rayonnement est sujet à être intercepté.

§. 13. Malgré cette interception, il pourra arriver, et il arrive en effet dans les espaces clos et de peu d'étendue, que par l'air, la chaleur sensible se propage plus vite que par le vide; parce que par le vide elle ne se propage qu'en rayonnant, au lieu que par l'air elle se propage à la fois en rayonnant et par voie de conductibilité, ou par des courans qui la transportent d'un lieu à l'autre. Mais ce n'est pas ce dont j'ai à m'occuper, il me suffit de faire remarquer que le calorique arrivé à la surface

d'un corps peut commencer à rayonner, même à travers l'air. Et comme le calorique est un fluide fort subtil, on doit concevoir que les particules de l'air sont assez grosses, pour en contenir beaucoup; en sorte que ces particules elles-mêmes, peuvent fort bien être dans le cas des corps dont je parle, que le calorique traverse lentement et à la surface desquels il rayonne. Je dis cela, sans affirmer que la chose soit ainsi; mais je le dis comme une chose vraisemblable, qui découle de nos principes sous certaines conditions. On comprend que ces conditions sont relatives à la constitution des gaz et à la grosseur de leurs particules comparées à celles du calorique.

§. 14. Si l'on a bien suivi la conséquence générale et immédiate de la théorie, appliquée à l'état du calorique qui se trouve placé à la surface des corps; on n'aura point de peine à concevoir chaque point de la surface d'un corps chaud sous le point de vue relatif à son échauffement. *Chaque point de la surface d'un corps doué de quelque chaleur est un centre, auquel tendent, et duquel partent, en tout sens, des filets de calorique.*

§. 15. Il en part en tout sens. Car le calorique sort de l'intérieur du corps où il rampoit; et parvenu à la surface, il s'échappe. Mais

quelle que soit la cause de ce mouvement (que chaque élément du calorique recouvre dès qu'il est libre), il n'y a pas de raison apparente qui puisse nous engager, au premier aperçu, à supposer qu'il affecte une direction particulière. Et puisque la nature de ce fluide discret est telle, que ses élémens se meuvent, les uns en une direction, les autres en une autre, selon tous les divers sens que l'imagination peut concevoir (§. 10.); nous devons faire usage ici de cette hypothèse, qui a été disertement posée et admise en son lieu. Cette disposition est ce qui constitue l'émission du calorique.

§. 16. Je dis de plus, qu'il arrive au point de la surface dont je parle des filets de rayons calorifiques en tout sens. Ceci est dit en supposant que le corps se trouve placé dans un lieu plus ou moins chaud. Si ce lieu est le vide, le calorique s'y meut librement en tout sens (§. 10). Donc notre assertion ne peut manquer de se vérifier. Si le corps est entouré d'autres corps plus ou moins chauds; comme chacun de ceux-ci émet du calorique en tout sens (§. 15.), le point que nous considérons ne peut manquer d'en recevoir de même. Si au nombre de ces corps se trouve l'air, 1.° on peut supposer que les molécules de l'air rayonnent. 2.°, tout au moins, on sait que le calorique

rayonne en grande partie à travers l'air. Ainsi l'assertion subsiste encore en ce cas. Les rayons de calorique qui entrent dans le corps constituent ce qu'on pourroit nommer l'*immission*. Nous dirons simplement que c'est le calorique *reçu* par le corps.

§. 17. Il ne peut paroître difficile de concevoir l'allée et la venue des élémens du calorique sur une même ligne physique, qu'à ceux qui ne sont pas assez accoutumés à considérer les grandes et les petites quantités, ou qui n'ont pas assez remarqué, combien il y a de petites masses et de grandes vitesses dans l'univers. Dès qu'on est familiarisé avec ces notions, rien de plus simple que la conception d'un corps qui émet et reçoit à la fois. Les élémens du calorique, tous distincts et séparés, sortent lentement du corps et sont aussitôt en proie à la cause qui tient perpétuellement ces élémens dans un état de mouvement. Ils fuient donc en tout sens. Les uns rentrent sans doute dans le corps, les autres s'en éloignent. Ceux-ci sont remplacés par les élémens venant du dehors. Parmi ces derniers, tous doués d'une grande vitesse ; les uns sans doute sont arrêtés à la surface du corps et rétournent peut-être dans les régions extérieures ; mais un grand nombre, poussés avec violence (comme ils le

sont), se font jour à travers les pores du corps, y pénètrent, sont absorbés. Il n'y a en tout cela rien que de clair et de concevable; rien même qu'on ne pût étayer par quelques analogies. La pluie, par exemple, grossit l'eau d'un bassin dans lequel elle tombe; ce qui n'empêche pas qu'en même tems beaucoup d'eau ne s'élève du bassin, par la voie de l'évaporation *. Mais les analogies sont très-imparfaites, lorsqu'on est forcé de passer des choses sensibles aux choses intellectuelles. Et l'on comprend bien, que ce n'est que par les yeux de l'entendement, que l'on peut saisir les mouvemens de corps aussi déliés, que le sont les élémens du calorique.

---

* C'est ainsi encore que la peau, étant pourvue de vaisseaux exhalans et inhalans, émet et reçoit tout à la fois des substances gazeuses. Et s'il étoit permis de comparer les choses naturelles à celles qui sont le produit de l'industrie humaine, on pourroit assimiler les échanges du calorique à la circulation de la monnoie. S'il y a deux fluides électriques, il est probable qu'ils s'entrecroisent en bien des cas sans se nuire. Les rayons de la lumière se traversent sans se gêner mutuellement. En parcourant la nature et l'art sous ce point de vue, on trouveroit, je pense, d'autres exemples de même genre, propres à aider la conception d'un phénomène, qui n'offre par lui-même rien de choquant ni d'improbable.

§. 18. Le calorique, à la surface d'un corps chaud, doit abonder en raison directe de la chaleur de ce corps, c'est-à-dire, de l'abondance du calorique intérieur. Ainsi l'émission doit suivre le même rapport. Cela résulte du mouvement moyen des élémens du calorique, mouvement constant lorsqu'il est libre, et auquel le corps oppose un obstacle qui, par une moyenne, est aussi partout le même. Il en sera encore ainsi de deux corps pareils. Donc, *dans les corps de même nature, l'émission est proportionnelle à la chaleur du corps* *. Mais si l'obstacle change, il n'en sera plus de même. Ainsi dans les corps de nature différente, il pourra en être autrement. J'observe en outre qu'il pourroit arriver, qu'à un certain point de condensation, le calorique se fît obstacle à lui-même, ou mécaniquement, ou chimiquement.

---

* Cette proposition sera reprise ci-dessous (§§. 31 et suiv.).

CHAPITRE IV.

De l'équilibre du calorique rayonnant.

§. 19. *L'ÉQUILIBRE* du calorique rayonnant *a lieu entre deux espaces voisins, lorsque ces deux espaces font entr'eux des échanges égaux de cette matière.* Cette espèce d'équilibre ne consiste pas dans le repos, mais au contraire dans un mouvement perpétuel et très-rapide ; on peut donc, pour le distinguer de ceux que l'on a coutume de considérer dans la statique, le désigner par l'expression d'*équilibre mobile.* Il est bien probable que l'équilibre qui s'établit par voie de conductibilité n'est pas d'une autre nature ; mais je ne m'en occupe pas ici.

§. 20. Quoique le peu que je viens de dire puisse en quelque sorte suffire pour faire entendre comment on doit concevoir l'équilibre mobile ; il convient de donner à cette notion plus de développement, en usant de quelques exemples propres à en faciliter la conception : car c'est sur cette idée que repose l'explication de plusieurs phénomènes importans.

Et d'abord il faut faire voir qu'elle dérive immédiatement de la constitution que nous

avons assignée au calorique. D'après cette constitution, il est impossible de concevoir un autre équilibre de chaleur entre deux corps ou espaces, mis en communication et séparés par quelque distance. Les rayons de calorique qu'ils émettent ne se rencontrent presque jamais; sont séparés les uns des autres; chacun se meut selon la direction qui lui est propre; il n'y a rien là qui ressemble à la balance mutuelle de deux poids égaux; ou à l'action de deux ressorts égaux et arc-boutés, qui s'opposent un mutuel obstacle. Les élémens du calorique traversent librement l'espace. Si donc ils sont également abondans en deux espaces mis en communication, cela doit venir de ce que chacun d'eux reçoit autant qu'il émet.

En effet, supposons deux corps de même nature, voisins sans être contigus, contenant chacun 1000 élémens de calorique. Que ces deux corps communiquent entr'eux et ne communiquent avec aucun autre. Que chacun d'eux émette et envoie à l'autre, dans le cours d'une seconde, la $\frac{1}{10}^{eme}$ partie du calorique qu'il contient. Chacun donc enverra par seconde 100 élémens; et recevra aussi 100 élémens. Ainsi, de seconde en seconde, il contiendra toujours 1000 élémens. Il ne s'échauffera ni ne se refroidira en vertu de la

communication qui a lieu entre lui et son voisin. On dira en ce cas que l'équilibre de calorique rayonnant est établi entre ces deux corps.

CHAPITRE V.

De la rupture et du rétablissement de l'équilibre mobile.

L'ÉQUILIBRE a lieu, disions-nous, entre deux corps voisins, lorsqu'en vertu de leurs émissions réciproques, ils font des échanges égaux. Et en ce cas, leur voisinage mutuel n'altère point leur température.

§. 21. Cet équilibre est rompu, si l'un des corps envoie à l'autre plus de calorique que celui-ci ne lui en renvoie, ou en d'autres termes, si l'un des corps, supposés de même nature, est plus chaud que l'autre. Si, par exemple, l'un contient 2000 élémens, tandis que l'autre n'en contient que 1000; pendant la 1.ère seconde, en partant des suppositions précédentes (§. 20.), celui-ci n'enverra que 100 particules à l'autre, qui lui en enverra 200.

§. 22. Par l'effet de ces émissions et immissions successives et inégales, (les émissions étant toujours proportionnées à la quantité de chaleur intérieure du corps qui émet (§. 18.)

on comprend que l'équilibre tend à se rétablir. En un tems plus ou moins long, il est enfin sensiblement rétabli.

Feu G. L. Le Sage de Genève *, à qui je communiquai, en 1791, un mémoire **; dans lequel j'exposois cette théorie, me remit une note, qu'il avoit écrite plus de trente ans auparavant, dans le but d'estimer le tems nécessaire pour ramener cette espèce d'équilibre entre deux fluides discrets quelconques.

En appliquant ses théorèmes à mon sujet, j'en tirai le résultat suivant, propre à rendre sensible la marche du phénomène.

Supposons que les densités du calorique libre, dans deux espaces voisins, soient comme les nombres 1 et 2 (c'est-à-dire, que l'un soit deux fois plus chaud que l'autre). Supposons encore que, dans une seconde, il passe, de l'un à l'autre espace, un nombre d'élémens de calorique, qui soit au total comme 1 est à 10 (en sorte que, pendant ce petit tems, il se fasse des échanges pour un dixième de tout le calorique). Après sept secondes, le rapport

* Voyez la Notice de sa vie et de ses écrits que j'ai publiée en 1805, chez Paschoud à Genève.

** Imprimé dans le Journal de Physique de cette même année.

des densités du calorique dans les deux espaces sera celui de 5 à 6. Après quatorze secondes, ces densités seront comme les nombres 28 et 29, c'est-à-dire, très-voisines de l'égalité : bientôt l'équilibre paroîtra rétabli.

CHAPITRE VI.

Extension des définitions précédentes.

§. 23. DANS tout ce qui précède je n'ai parlé que de l'équilibre du calorique *rayonnant*. Tout nous porte à croire que l'équilibre du calorique *conduit* (§. 2.) est de même genre. Ce doit être aussi un équilibre d'échanges, un équilibre mobile. Car 1.° dans l'intérieur d'un corps les élémens du calorique gêné ne sont guère plus sujets à se rencontrer mutuellement, que ceux du calorique libre qui se meuvent dans un espace non résistant : d'où il résulte que, dans un même corps, l'équilibre de chaleur entre ses parties doit être un équilibre mobile. 2.° Lorsque le calorique passe d'un corps à l'autre, on peut faire précisément la même remarque ; et même on peut presque toujours saisir un moment, où le calorique qui passe redevient libre et rayonne. Ainsi, soit qu'il

qu'il s'agisse du calorique conduit intérieurement dans un même corps, ou de celui qui est conduit d'un corps à l'autre, on ne peut bien concevoir l'existence ou le rétablissement de l'équilibre de chaleur que par voie d'échanges.

§. 24. Lorsqu'on place un thermomètre dans un lieu chaud, le calorique rayonnant est le premier qui doit l'affecter. Ensuite cet instrument doit conformer peu à peu sa température à celle des corps qui le touchent, selon leur propriété plus ou moins conductrice.

§. 25. Il est clair, d'après ce qui précède, qu'en général, et moyennant un tems suffisant, l'équilibre de rayonnement et l'équilibre de conductibilité doivent avoir lieu à la fois. Deux corps contigus, et mis dès long-tems en communication par voie de conductibilité, sont en équilibre à cet égard. Si l'on vient à les séparer ils seront encore en équilibre par voie de rayonnement.

Mais quant à l'équilibre rompu, on peut concevoir, entre les deux moyens de le rétablir, des différences dépendant de la nature des corps. Il peut se faire qu'un corps d'une certaine espèce donne au calorique un plus libre passage par voie de rayonnement; et un autre au contraire, par voie de conductibilité.

Je n'ai eu en vue jusqu'ici, que d'expliquer nettement mes conceptions sur la théorie du calorique rayonnant. C'est pour être plus clair que je les ai entièrement séparées de l'expérience, et que je les ai présentées sous une forme hypothétique. Je vais maintenant diriger mes efforts vers la vérification de cette théorie, en expliquant par son moyen les faits observés: ou, ce qui revient au même, je vais déduire de la théorie ses conséquences, et voir jusqu'à quel point l'expérience les confirme. A cet effet je déduirai de l'hypothèse quelques lois générales, que je comparerai à celles que les phénomènes nous ont fait connoître: après quoi je suivrai ces lois dans leurs diverses applications.

SECTION II.

Des lois de la chaleur croissante et décroissante.

Nous considérerons d'abord séparément le calorique qui entre dans un corps, et celui qui en sort. Ensuite nous combinerons ces deux effets.

CHAPITRE I.

Des lois de la chaleur entrante.

§. 26. Lorsqu'une source de chaleur s'ouvre, les corps qui y sont exposés l'absorbent selon leur nature. Mais comme ils n'en reçoivent qu'une quantité finie en un tems fini, il leur faut un certain tems pour atteindre un degré donné de température.

§. 27. J'ai indiqué le résultat du calcul de ce tems pour le calorique libre, et en ayant égard à sa sortie aussi bien qu'à son entrée. Mais que le calorique soit libre ou gêné, s'il entre dans un lieu dont il ne ressort plus; la chaleur acquise par cette communication dépend du tems et de l'intensité de la source. C'est ce qui se vérifie même assez bien dans

les expériences communes, quoique le calorique n'y soit pas considéré uniquement comme entrant. Si l'on présente à un même feu, à certaine distance, un même corps; ce corps s'échauffe peu dans un tems court, et beaucoup dans un tems long. D'un autre côté, si l'on approche ce corps pendant un même tems de deux feux différens, il s'échauffera plus auprès du feu le plus ardent.

§. 28. La loi relative à l'intensité est très-évidente, et tous les physiciens la supposent. Newton l'admet sans difficulté, quant à la chaleur solaire. « La chaleur du soleil, dit-il, » est comme la densité des rayons *. » Sur quoi Mr. de Mairan observe que, de quelque façon qu'on entende la différence qu'il y a de la chaleur à la lumière; et quels que soient les agens secondaires que les rayons du soleil mettent en mouvement; les effets en seront toujours proportionnels à la cause. Ce physicien a confirmé ce principe par une expérience directe. Il a réfléchi sur la boule d'un thermomètre l'image du soleil au moyen de plusieurs miroirs plans; et il a observé que le nombre des degrés, dont la liqueur montoit

* *Est enim calor solis ut radiorum densitas.* Princip. L. III. Prop. 41.

dans le tube, étoit proportionnel au nombre des miroirs; c'est-à-dire, que si un seul miroir avoit fait monter le mercure de 3 degrés, deux miroirs réunis le faisoient monter de 6, et trois miroirs de 9 degrés *. Quoique le rayonnement du thermomètre se mêle ici à l'action de la chaleur qui y entre, on peut envisager l'expérience comme concluante; parce qu'en chaque petit tems, l'excès de rayonnement est proportionnel à l'excès de chaleur que l'instrument vient d'acquérir. En déterminant l'échauffement que dut contracter la comète de 1680, l'auteur du *Système du monde* **, ajoute ces mots : « Si, comme tout porte à le penser, » sa chaleur est proportionnelle à l'intensité » de la lumière. » Enfin on ne peut refuser d'admettre, qu'en faisant abstraction du calorique sortant, plus il afflue et plus aussi le corps en possède; bien entendu que l'on parle toujours d'un même corps, ou de deux corps pareils et de même nature. Ainsi, *toutes choses d'ailleurs égales, le calorique entrant en un tems donné dans un corps est proportionnel à l'intensité de la source.*

---

* Mém. de l'Acad. des Sc. pour 1765. Nouvelles recherches etc., §§. 42 et 22.

** 3.e édit. p. 124.

§. 29. Continuant à ne pas tenir compte de la chaleur qui sort de ce même corps, et *supposant la source constante et immuable*, il est clair que *le calorique entrant doit être comme le tems pendant lequel le corps est soumis à son influence ;* car chaque instant ajoute une quantité égale de calorique. L'action d'une force, ainsi que l'observe Mr. Æpinus *, est toujours proportionnelle au tems pendant lequel elle s'exerce. La vitesse acquise par un grave pendant sa chute est proportionnelle au tems pendant lequel il a été exposé aux coups de la pesanteur. Or la chaleur, entre certaines limites, peut être comparée aux forces de ce genre, c'est-à-dire, à celles dont les agens ne se nuisent point par leur action mutuelle : car le calorique est si subtil, ses élémens ont un diamètre si petit relativement à leurs distances; que leur accumulation, au point où elle a lieu dans les phénomènes le plus communément observés, n'apporte aucun obstacle au progrès de cette accumulation (§. 10.). Le calorique introduit dans un corps ne ferme pas le passage au nouveau calorique qui cherche à s'y introduire.

§. 30. Ainsi l'accumulation du calorique,

* Cogitationes de distributione caloris per tellurem, Adnot. *d.*

dans un lieu duquel il ne sort point, est toujours proportionnelle à l'intensité de la cause qui l'y fait entrer, multipliée par le tems pendant lequel cette cause agit. *La chaleur entrante est en raison composée du tems et de l'intensité.*

CHAPITRE II.

Des lois de la chaleur sortante.

§. 31. *Si la chaleur interne est maintenue constamment au même degré, la chaleur sortante, ou l'émission, est en raison composée de l'intensité de la chaleur interne et du tems.*

Le tems étant le même; un même espace, ou un même corps, deux fois plus chaud, lancera deux fois plus de rayons calorifiques. Et la chaleur restant la même, il lancera deux fois plus de rayons dans un tems double.

§. 32. Cela est évident lorsque le calorique est libre. Quant au calorique gêné, supposons d'abord le corps dont il s'agit plongé dans un espace vide et absolument froid. Quelles que soient les circonstances qui procurent l'arrivée du calorique intérieur à la surface du corps et son évasion dans l'espace; plus il y aura de

particules ou d'élémens du calorique captifs dans le corps, et plus aussi il s'en trouvera qui seront à portée de profiter de ces circonstances. Et de même, plus le tems sera long, plus aussi ces occasions seront fréquentes; car le calorique est tout composé d'élémens séparés, qui tentent sans cesse toutes les issues; et ces élémens sont si déliés, qu'ils ne s'entravent point l'un l'autre dans leurs mouvemens, ou que du moins leurs rencontres mutuelles sont très-rares, et ne valent pas qu'on en tienne compte (§. 10.).

§. 33. Supposons maintenant le corps plongé dans un milieu qui fait obstacle à la sortie du calorique (tel que l'air, par exemple). Ce milieu interceptera une certaine partie aliquote du courant de calorique rayonnant (par exemple, la dixième). Or nous pourrons dire du reste (des neuf dixièmes) tout ce que nous venons de dire du courant total.

§. 34. Ainsi dans tous les cas, dans un même corps, ou dans deux corps absolument pareils et de même nature, la chaleur sortante, ou le calorique rayonnant, est en raison composée de l'intensité de la chaleur interne, maintenue constante, et du tems pendant lequel le corps rayonne.

CHAPITRE III.

Des lois de l'échauffement et du refroidissement.

§. 35. Il est très-difficile de confirmer, par des expériences directes, les lois de la chaleur entrante et celles de la chaleur sortante prises à part, parce que ces lois se compliquent mutuellement. Tous les corps à notre portée, étant plus ou moins chauds, rayonnent ; et lorsqu'on les expose à un courant de chaleur, on ne sauroit distinguer expérimentalement la chaleur entrante de la chaleur sortante. Or l'échauffement et le refroidissement ne sont que la différence de ces deux chaleurs. Cette différence n'est proportionnelle ni à la chaleur entrante, ni à la chaleur sortante, prises à part, si ce n'est par hasard dans quelques cas particuliers. Il faut donc analyser chaque expérience, et voir si les résultats sont conformes à ceux que donnent les lois que nous venons d'établir.

§. 36. Le cas le plus simple est celui dans lequel on mesure des tems égaux, et où l'on compare des échauffemens et refroidissemens, opérés par des sources d'intensité différente.

Pour bien comprendre ce cas, imaginons d'abord un corps absolument froid ; puis exposons-le à une source de chaleur permanente et maintenue constamment au même degré d'intensité. Comme le corps reçoit, en un tems donné, une quantité de calorique proportionnelle à l'intensité de la source (§. 28.); et comme l'émission est toujours proportionnelle au calorique que le corps contient (§. 31.); il est certain que, dans un même tems, l'échauffement du corps (ou la différence entre ce qu'il a reçu et émis) doit être proportionnelle à l'intensité de la source.

§. 37. Maintenant supposons un corps chaud, mis en communication avec une source permanente de chaleur. Il se fait entre le corps et la source de mutuels échanges. Ces échanges sont égaux ou inégaux. Le cas d'égalité ne donne lieu à aucune remarque. Le cas d'inégalité offre deux cas distincts. Si la source fournit au corps plus que celui-ci ne reçoit d'elle, je divise l'émission de la source en deux portions, dont l'une est celle qui est égale à l'émission du corps, et l'autre est tout ce qu'elle contient d'excédant. Quant à la 1.ère portion, le corps et la source sont en équilibre ; il n'y a rien à en dire. Et quant à la 2.de ou à l'excès, on peut dire que le

corps est comme absolument froid; ainsi ce cas rentre dans celui que nous venons de traiter. Supposons maintenant l'émission du corps plus considérable que celle de la source. C'est en ce cas dans l'émission du corps que je distingue deux portions, l'une égale à l'émission de la source, et l'autre qui est tout l'excès. Cette dernière partie se comporte comme feroit l'émission d'un corps chaud plongé dans un espace absolument froid. Nous avons vu qu'en tems égal cette émission est proportionnelle à l'intensité de la chaleur interne. Donc, dans tous les cas, *l'échauffement ou le refroidissement en tems égal est proportionnel à la différence entre la température de la source et du corps.*

§. 38. Tel est en effet le résultat des expériences directes faites à ce sujet par Richmann. Ce physicien a vu que, *dans les corps pareils* (qui ne diffèrent ni par les masses ni par les surfaces, ni par aucune autre circonstance étrangère capable d'influer ici), *l'échauffement ou le refroidissement d'un corps exposé à l'air* (*celui-ci étant maintenu constamment au même degré*) *est, en tems égal, proportionnel à la différence de leurs températures initiales* *.

* Nov. comm. Acad. Petrop. T. I. p. 191.

§. 39. Cette loi, obtenue par l'expérience directe sur de petits intervalles de tems, tels que cinq minutes, est par-là même prouvée, dans les circonstances de l'expérience, pour de plus grands intervalles multiples des premiers; et même on peut dire qu'elle se trouve prouvée suffisamment pour des intervalles de tems quelconques, entre les limites qu'indique le sujet. Car il faudroit des suppositions bizarres et extrêmement improbables, pour que la loi eût constamment lieu toutes les cinq minutes, et qu'elle n'eût pas lieu toutes les minutes, par exemple.

La loi générale est admise par Mr. Biot, et il la prend pour base de théorie dans le calcul de ses belles expériences sur la propagation de la chaleur *; expériences, dont les résultats très-variés ne s'écartent presque point du calcul **.

Ce premier accord de la théorie et de l'expérience est satisfaisant, et sera abondamment confirmé par les applications suivantes.

§. 40. Faisons varier le tems, et nous verrons découler de nos principes une loi fort importante à remarquer. Considérons d'abord le

* Bibl. brit. T. XXVII. p. 316.

** Ibid. Voyéz le tableau, p. 328.

cas de l'échauffement, dans la supposition la plus simple, celle où un corps est placé dans un milieu plus chaud que lui et jouissant toujours d'une température constante. Divisons, comme nous le faisions tout-à-l'heure, la chaleur du milieu en deux portions, l'une égale à celle du corps et l'autre égale à la différence des deux chaleurs. Quant à la première, les échanges sont égaux entre le corps et le milieu, il y a équilibre. L'excès de chaleur du milieu peut donc être considéré seul; et, relativement à cet excès, le corps est absolument froid. Supposons qu'en une seconde, le corps reçoive la $\frac{1}{10}$ème partie de ce calorique. A la fin de cette seconde, l'excès ne sera plus que de $\frac{9}{10}$. La $\frac{1}{10}$ème de ce nouvel excès passera dans le corps pendant le cours de la 2.me seconde; et l'excès sera réduit aux $\frac{9}{10}$ des $\frac{9}{10}$. On voit, en suivant ce raisonnement, qu'à la fin de la 3.me seconde, l'excès sera la 3.me puissance de $\frac{9}{10}$. Et ainsi de suite. De manière que, les tems croissant selon la progression 0, 1, 2, 3, etc.; les différences décroissent selon celle-ci, 1, $\frac{9}{10}$, $(\frac{9}{10})^2$, $(\frac{9}{10})^3$, etc.

On déduit avec la même facilité, la même loi de refroidissement, pour un corps plongé dans un milieu plus froid que lui. Car en ce cas, on peut d'abord, comme ci-devant, faire

abstraction de la chaleur commune au corps et au milieu. Considérant donc l'excès seul et supposant le milieu absolument froid, nous verrons que l'émission du calorique doit enlever au corps à chaque instant une partie de sa chaleur interne proportionnelle à ce qui lui en reste. Si, par exemple, il perd la $\frac{1}{10}$ème de sa chaleur interne pendant un seul de ces instans indivisibles ; on conçoit qu'après le 1.er instant, il ne lui restera que les $\frac{9}{10}$èmes de sa chaleur primitive. Au 2.d instant les $\frac{9}{10}$ de ces $\frac{9}{10}$. Et ainsi de suite.

§. 41. L'expérience a confirmé cette loi. Newton l'a supposée dans ses essais comparés du refroidissement du fer. Et cette supposition a donné des résultats conformes à l'observation *. Richmann, employant à la fois ses propres expériences et celles de Krafft, l'a démontrée directement. Il l'a établie sous cette forme, qui est parfaitement claire et conforme à la marche que nous avons suivie dans le développement des conséquences de la théorie : *Dans un milieu d'une température constante, un corps s'échauffe ou se refroidit, de sorte que les différences de sa chaleur à celle du milieu sont en progression géométrique,*

* Newtoni Opuscula. T. II. p. 423.

tandis que les tems de l'échauffement ou du refroidissement sont en progression arithmétique *.

Cette loi a été également reconnue par un observateur postérieur, qui l'énonce sous une forme différente, mais exactement équivalente. « J'essayai », dit ce célèbre observateur, « de rechercher la loi du refroidissement » des corps chauds dans un milieu froid am» biant, et j'eus lieu de conclure : Que, si » sur une ligne droite » etc. Ici l'auteur énonce sa loi à l'aide d'une figure, que le lecteur peut aisément suppléer. Sur une droite, servant de ligne des abscisses et représentant les tems, élevez des ordonnées perpendiculaires, représentant les différences de température du corps et du milieu à l'expiration de chaque tems; la courbe qui passera par les extrémités de ces ordonnées sera une logarithmique. « Ou si elle en diffère », ajoute cet observateur exact et scrupuleux, » ce sera de » si peu (surtout pour un petit nombre de » degrés, et par une température élevée de » 40° à 50° au-dessus du milieu ambiant), » qu'aucune erreur sensible ne pourra résulter

* Nov. Comm. Acad. Petrop. T. I. p. 195.

» de la supposition que cette courbe soit préci-
» sément la logarithmique » *.

Mr. Leslie a également reconnu et employé cette loi, comme on le verra par le détail de ses expériences, que je rapporterai dans la suite de cet ouvrage (§§. 186. 187.).

Je dois dire cependant que l'on trouve, dans les *Annales de chimie* (T. 46. p. 264.), quelques tables des expériences de Mr. Dalton sur le refroidissement d'un thermomètre échauffé à 600°, et laissé dans une chambre à 52°, puis observé de $\frac{1}{2}$ minute en $\frac{1}{2}$ minute, où les excès suivent une progression géométrique irrégulière. Pendant les premières $\frac{1}{2}$ minutes, la progression a pour exposant $\frac{3}{4}$; et pendant les dernières à peu près $\frac{5}{6}$. Quelque cause trouble-t-elle la loi au-delà de certaines limites?

* Mémoires sur la chaleur, par le C. Rumford, Paris, 1804. p. 12 et 13.

CHAPITRE IV.

Suite.

§. 42. Les lois de la chaleur croissante et décroissante, que nous avons exposées, sont d'une application claire et facile, parce qu'elles portent sur le premier degré de combinaison de l'immission et de l'émission. Je vais maintenant parler de quelques cas plus compliqués, et de quelques autres circonstances, qui influent sur l'échauffement et le refroidissement. Si l'intensité et le tems varient à la fois, les résultats deviennent d'une appréciation plus difficile.

§. 43. Supposons d'abord, comme ci-devant, une source constante (telle qu'un milieu), toujours maintenue au même degré; et un corps soumis à son influence. Bornons-nous à considérer le cas de l'échauffement de ce corps, supposé d'abord absolument froid. Faisons varier l'intensité de chaleur du milieu, de manière qu'en divers essais successifs, il lance des quantités de calorique, qui soient entr'elles comme les nombres 1, 2, 3, ... *n*. Feignons qu'on observe leurs différens effets sur ce corps, sans s'attacher à mesurer des tems

égaux ; mais avec le dessein d'estimer ces effets et de les comparer entr'eux.

Pour chaque source considérée à part, il s'établira une progression géométrique décroissante, dont les termes représenteront les différences successives de température du corps et du milieu en tems égaux. Ces suites finiront toujours par atteindre dans leurs derniers termes la température de la source à une très-petite quantité près. Et cette quantité pourra être prise arbitrairement, ou déterminée par la nature des instrumens mensurateurs de la température.

§. 44. Les choses étant conçues ainsi, on demande : Laquelle des sources de chaleur, amènera le plus vite le corps froid à sa propre température ? Je réponds que c'est la source la moins chaude. En effet soient deux milieux dont les intensités de chaleur soient entr'elles comme 1 est à 2. Soient deux corps pareils plongés simultanément, l'un dans un de ces milieux, l'autre dans l'autre. Soit α, le minimum d'accroissement de chaleur que nos instrumens peuvent rendre sensible. Je considère l'intensité double du milieu le plus chaud comme deux intensités simples ; c'est-à-dire, que je partage son calorique en deux portions égales. Chacune de ces portions agissant sans

troubler l'autre ; il est clair que, d'instant en instant, tous les effets sont doublés. Lors donc que le milieu, dont l'intensité est = 1, aura porté le corps qu'il entoure au point d'égaler sa propre température sensiblement, c'est-à-dire, au point de n'en différer que de la quantité α ; le milieu, dont la chaleur est = 2, aura porté le corps qu'il entoure au point de ne différer de sa propre température que de la quantité 2α. Donc il y aura encore pour ce dernier corps, dans les momens suivans, des accroissemens de chaleur sensibles à nos instrumens. C'est-à-dire, que lorsque le corps exposé à la source la moins chaude aura paru avoir atteint son maximum de chaleur, le corps exposé à la source la plus chaude ne l'aura pas encore atteint ; ou en d'autres termes : *de deux corps pareils, exposés à l'action de deux sources d'inégale chaleur, celui qui est exposé à la source la moins chaude atteindra son maximum sensible plus tôt que celui qui est exposé à la source la plus chaude* *.

* Tout cela est dit en supposant que l'observateur juge le terme atteint, lorsqu'en un tems donné, pris pour base constante, il n'observe aucun accroissement. Il n'est pas difficile de passer de cette supposition à d'autres. Mais je n'emploierai que celle-là.

§. 45. Dans les cas précédens, il y a toujours une quantité constante; savoir, la température du milieu. On peut demander la loi de l'échauffement ou refroidissement, dans le cas où les deux corps, mis en communication, seroient également exposés à changer de température.

Pour arriver à la solution de ce cas compliqué, il faut considérer ces deux corps comme égaux, et comme tellement isolés et garantis de toute autre influence, qu'ils ne gagnent ou perdent de la chaleur, qu'en vertu de leur communication mutuelle.

Cette communication se faisant selon les lois propres à la chaleur rayonnante que nous avons exposées ci-dessus, voici les formules qui donneront la solution désirée.

Soit a, l'excès de chaleur d'un des corps sur la chaleur de l'autre.

$\frac{1}{p}$, l'aliquote de chaleur perdue par le rayonnement dans un instant.

n, la durée de l'échauffement.

e, la quantité de chaleur acquise, pendant le tems n, par le moins chaud; soit l'échauffement de celui-ci, le refroidissement de celui-là.

Formules.

$$e = \frac{a}{2}\left(1 - \left(\frac{p-1}{p}\right)^n\right).$$

$$n = \frac{log.\ a\ -\ log.\ (a-2e)}{log.\ p\ -\ log.\ (p-1)}$$

§. 46. Maintenant, pour nous rapprocher de la nature, supposons que les corps mis en expérience ne se communiquent qu'une partie de leur chaleur, tandis que le reste rayonne dans l'espace.

Soient a et *zéro*, les chaleurs de deux corps, égaux et semblables, au premier instant de leur communication; $\frac{1}{p}$, la partie aliquote de sa chaleur absolue que l'un et l'autre perd dans un instant par le rayonnement; $\frac{1}{q}$, la partie aliquote du rayonnement d'un corps pendant un instant, qui est reçue par l'autre corps; et partant $\frac{q-1}{q}$, celle qui se perd dans l'espace.

Après n instans, la chaleur du corps primitivement chaud est réduite à

$$\frac{a}{2}\left(\left[\frac{p-1}{p} + \frac{1}{pq}\right]^n + \left[\frac{p-1}{p} + -\frac{1}{pq}\right]^n\right)$$

Celle du corps échauffé est

$$\frac{a}{2}\left(\left[\frac{p-1}{p} + \frac{1}{pq}\right] - \left[\frac{p-1}{p} - \frac{1}{pq}\right]^n\right)$$

En sorte que la quantité de chaleur perdue dans l'espace est

$$a\left(1-\left[\frac{p-1}{p}+\frac{1}{pq}\right]^n\right)$$

§. 47. Ces formules (des §§. 45 et 46.) m'ont été fournies par Mr. de Végobre *, de qui j'aurai occasion de citer encore une utile remarque (§. 283.).

Je ne connois pas d'expériences, faites avec soin, auxquelles ces formules s'appliquent directement. On peut cependant les comparer aux résultats obtenus par Richmann **, et peut-être à ceux qu'ont rassemblés des observateurs plus récens. Car ces formules, étant générales, contiennent tous les cas particuliers sous les mêmes conditions, c'est-à-dire abstraction faite des différences de nature, de surfaces, de masses, etc.

§. 48. On voit, à la simple inspection de ces formules, qu'à supposer le tems constant et l'émission une aliquote constante de la chaleur interne; l'échauffement est, dans tous les cas, proportionnel à la différence initiale entre les températures. D'où il suit qu'*à mesure qu'un*

---

* Et il a vérifié que la première de ces formules étoit conforme à celles de G. L. Le Sage (§ 22.).

** Nov. Comm. Acad. Petrop. T. I. p. 195.

corps s'échauffe ou se refroidit, les progrès de son changement de température deviennent plus lents en tems égal. Loi très-facile à observer dans les expériences journalières les plus communes, et qui est souvent employée en physique.

§. 49. Dans la rigueur mathématique, le tems nécessaire pour rétablir l'équilibre entre deux corps d'inégale température est infini; et c'est ce qu'indique la seconde formule. Car, si l'on y fait $e = \frac{a}{2}$, le numérateur y devient infini par la soustraction du logarithme de *zéro*, qui est un infini négatif. Il n'est pas nécessaire de faire remarquer comment ce résultat rigoureux est modifié par l'expérience.

§. 50. Selon Richmann, *les refroidissemens dans l'air, abstraction faite des autres rapports, sont directement comme les surfaces et inversement comme les masses* *. Cela n'est vrai qu'en tant que les corps et les surfaces sont exactement de même nature.

§. 51. La loi de *l'inverse du carré de la distance du corps chaud* sembleroit devoir se vérifier ici, comme dans tous les cas où il s'agit de l'action d'une force qui se propage d'un

* Nov. Comm. Acad. Petrop. T. I. p. 191.

centre. Mais l'interception du calorique par l'air doit troubler cette loi. Il peut y avoir encore d'autres causes d'anomalie. Mr. Leslie a fait quelques expériences qui se rapportent à ce sujet, et que nous discuterons (§§. 177 et suiv.).

SECTION III.

De la transmission et de l'interception de la chaleur, observées dans le cas de l'échauffement seulement.

§. 52. Cette section est destinée à l'examen de quelques expériences, par lesquelles on a tenté d'apprécier la transmission et l'interception du calorique, opérées par différens corps; ces corps étant soumis à l'action d'une source de chaleur, supérieure à celle de l'écran, et à celle du milieu. Les expériences que j'y discuterai sont celles de Mr. Pictet et celles de Mr. Herschell. Celles-ci sont consignées dans les Transactions philosophiques pour 1800. Je n'entrerai pas à cet égard dans autant de détail que je l'ai fait ailleurs *; mais j'en dirai

* Dans un mémoire intitulé : *Quelques remarques sur la chaleur et sur l'action des corps qui l'interceptent.* Trans. phil. pour 1802. p. 403.

assez pour montrer que les résultats de ces expériences dépendent des principes posés ci-dessus. J'aurai d'ailleurs à revenir sur ce sujet, en exposant les expériences de Mr. Leslie (§. 151 et suiv.).

CHAPITRE PREMIER.

Premières tentatives pour estimer la transmission du calorique à travers des écrans de diverses sortes.

§. 53. UNE des premières tentatives faites dans le but d'apprécier la transmission du calorique par le verre, se trouve décrite dans l'*Essai sur le feu* de Mr. Pictet *. Un thermomètre très-sensible, étant exposé à la chaleur concentrée d'une bougie, étoit monté de 2 degrés à 12. On interposa un carreau de verre bien transparent; et en neuf minutes le thermomètre descendit à 5°,7. En supprimant le carreau, le thermomètre remonta en sept minutes à 11°,1.

§. 54. L'observateur ayant substitué à la

* §§. 52 et suiv.—Scheele avoit déjà fait sur ce sujet quelques observations, que j'ai mentionnées ci-dessus (§. 1.).

bougie un matras rempli d'eau bouillante, éprouva des écrans de diverses sortes. Il se procura une glace de miroir plan, étamée et aussi mince qu'il put la trouver. « Cette glace » offroit deux substances en parfait contact ; » un verre plan, dont les deux surfaces étoient » semblables ; et une lame très-mince d'amal- » game, dont la surface en contact avec le » verre avoit tout le poli qu'on voit aux miroirs » ordinaires, et la surface postérieure offroit » le blanc mat de l'étain amalgamé avec le » mercure. La glace étoit placée de façon à » intercepter l'émanation calorifique à son pas- » sage » etc. Voici maintenant les résultats des expériences faites avec cette espèce d'écran. « Le côté poli du miroir étant tourné vers le » matras, l'ascension moyenne du thermo- » mètre d'air fut seulement de o'5 de degré. — » Le côté terne ou le dos du miroir faisant face » au matras, l'ascension moyenne fut de 3,5 » degrés. »

L'observateur explique le phénomène bien naturellement par cette phrase : « On voit » que de deux surfaces blanches, celle qui est » polie réfléchit plus efficacement la chaleur » que celle qui est terne. »

§. 55. » Je noircis ensuite, » ajoute-t-il, « avec » de l'encre de la Chine et quelque peu de

» fumée, la surface postérieure du miroir, et » je répétai la même expérience. »

» Le côté poli du miroir étant tourné vers » le matras, l'ascension fut de 3 degrés. »

» Le dos noirci tourné vers ce même matras, » l'ascension fut de 9,2 degrés. »

» On voit ici une différence bien notable » dans la transmission de la chaleur; cette dif- » férence est de 6,2 degrés, à l'avantage de la » position dans laquelle la face noire est di- » rigée du côté de l'émanation. » . . . . .

» Je voulus savoir ensuite, » continue cet habile physicien, « pour combien l'étamage » et la couche de noir contribuoient à inter- » cepter la chaleur; et immédiatement après » la dernière expérience dont je viens de rendre » compte, j'enlevai tout l'étamage de la glace, » et je recommençai l'expérience. »

» L'ascension du thermomètre fut cette fois » de 18 degrés, c'est-à-dire, d'environ 9 » degrés plus considérable avec la glace sans » étamage, qu'avec la glace étamée, le côté » noir étant tourné vers le matras; et elle ex- » céda de 15 degrés celle qui avoit lieu lorsque » le côté poli de l'étamage étoit tourné vers le » matras. »

» Ce verre transparent interceptoit encore » bien puissamment la chaleur, car lorsqu'on

» l'enlevoit, ... il montoit si rapidement, » qu'en quelques secondes, la liqueur seroit » sortie du tube si l'on eût laissé l'appareil ainsi » disposé. »

» Je substituai ensuite à la glace un carton » blanc, mince, des mêmes dimensions qu'elle, » pour comparer son effet avec celui du verre. »

» Le thermomètre monta de 10 degrés, » c'est-à-dire, que l'effet de ce carton étoit à » peu près le même que celui de la glace éta- » mée et noircie, le côté noir étant tourné » vers le matras. »

§. 56. J'ai rappelé ici cette suite d'expériences sur la transmission, pour faire remarquer que, dès l'époque de la publication de l'*Essai sur le feu*, Mr. Pictet avoit observé plusieurs résultats importans, relatifs à la transmission de la chaleur, qui ont été dès lors mesurés avec beaucoup de soin, et qui se sont vérifiés dans le cas du refroidissement comme dans le cas de l'échauffement. Mais je reprendrai ce sujet dans la section suivante.

§. 57. On peut seulement observer ici que Mr. Pictet attribuoit dès lors à la plus grande réflexion des surfaces polies, la plus grande interception d'un même écran présentant à la source une face de cette espèce. « La diffé- » rence de l'effet sur le thermomètre dans les

» deux cas », dit-il, » indiquoit laquelle de » ces deux positions interceptoit ou réfléchis- » soit plus efficacement la chaleur; on sent » que, dans ce cas particulier où la substance » intermédiaire restoit la même, ces deux ex- » pressions sont synonymes, vu que la quan- » tité absorbée par cette substance, devoit se » trouver la même, et que la quantité non- » transmise devoit être par conséquent réflé- » chie. »

§. 58. Il ne paroît pas qu'à cette époque, ni assez long-tems depuis, on ait donné à la chaleur absorbée par l'écran, ou en d'autres termes à l'échauffement de l'écran, toute l'attention qu'il convient d'y donner *. L'effet de cet échauffement est, comme on sent, de produire un rayonnement. Et ce rayonnement, agissant sur le thermomètre du côté opposé à la source, contribue essentiellement au mouvement de cet instrument. Cela va même au point de pouvoir expliquer en entier le phénomène, et de laisser douteux, dans la plupart des expériences, s'il y a aucune transmission.

* Je lis dans un journal anglois que le professeur Robison d'Édimbourg a remarqué qu'une feuille de verre, placée entre le feu et le visage, intercepte les rayons du calorique jusqu'à ce qu'elle en soit saturée. *Monthly Review, April 1803, p. 417.*

immédiate de calorique ; comme je l'ai dit et répété, il y a déjà quelques années, à l'occasion de certaines expériences de Mr. Herschel *, dont je vais faire, au chapitre suivant, un exposé succinct. A l'exception de l'influence que peut avoir cette chaleur accumulée dans l'écran, les interceptions dépendent sans doute de la réflexion, comme Mr. Pictet l'a remarqué. Mais on verra bientôt qu'il n'est pas très-facile de séparer ces deux effets.

CHAPITRE II.

Tentatives ultérieures.

§. 59. Le Dr. Herschel, voulant estimer la quantité de lumière transmise par divers corps, a employé un appareil dont il donne la description détaillée **. Au moyen de cet appareil, il apprécie l'effet d'une même source de chaleur, agissant d'un côté sans obstacle, et de l'autre à travers une lame qui l'arrête en partie. Qu'on se représente un rayon solaire tombant sur deux thermomètres pareils, sur l'un directement, et sur l'autre à travers un verre ; qu'on

* Trans. phil. pour 1802, p. 417, §. 14. p. 447, n.° 6. etc.

** Phil. Trans. for 1800, p. 446.

écarte soigneusement toutes les causes qui pourroient influer ici ; et l'on aura une idée de cet appareil, construit avec tout le soin et toute la sagacité qu'on a droit d'attendre d'un excellent observateur.

§. 60. Ce physicien a fait, avec cet appareil, un grand nombre d'expériences, toutes de même forme. Chacune d'elles offre six observations, pour chacun des deux thermomètres. La 1.re observation indique le degré au commencement de l'expérience, et avant que la source de chaleur ait pu agir; les autres indiquent successivement, de minute en minute, les degrés de la chaleur croissante, jusqu'à la 5.me minute, époque où finit l'expérience *. Ces nombreuses expériences ne diffèrent entr'elles, que par la nature du corps dont est formée la lame interceptante, ou par la nature de la source de chaleur, qui est employée.

§. 61. A la fin de chaque expérience, l'auteur en donne le résultat. Pour cet effet, il retranche le degré initial du degré final ; et faisant séparément cette soustraction pour chacun des deux thermomètres, il se borne

* Quelques-unes de ces expériences n'ont duré que trois minutes: je ne citerai pas cette classe d'expériences, c'est pourquoi j'emploie ici une expression générale.

à comparer les restes, pour en conclure la transmission.

§. 62. Voici le détail de la 1.ère des expériences de ce genre, qui est la 24.ème de l'ouvrage.

		Au soleil direct.	A travers un verre blanc bleuâtre.
A	0′	67°	67°
	1	$68\frac{5}{4}$	$68\frac{1}{8}$
	2	$70\frac{1}{8}$	$69\frac{1}{8}$
	3	$71\frac{5}{8}$	70
	4	$72\frac{5}{8}$	$70\frac{7}{8}$
	5	73	$71\frac{1}{2}$

Soustrayant donc le degré initial du degré final, on a, au soleil direct, 6° de chaleur acquise; tandis qu'à travers le verre, on n'en a que $4\frac{1}{2}$. Le rapport de ce dernier nombre au premier représente la transmission par le verre. C'est en millièmes 0'750; dont le complément, 0'250, exprime les rayons interceptés. Tel est le calcul de l'expérience, selon la méthode employée par l'auteur. J'en vais encore donner deux exemples.

§. 63. Voici la 2.de expérience de cette suite. C'est la 25.ème de l'ouvrage. Elle a été faite avec les mêmes thermomètres que la précédente.

Degrés

Degrés observés.

		Au soleil libre.	A travers le flint-glass.
B	0′	$69\frac{5}{4}$	$69\frac{5}{4}$
	1	$71\frac{1}{4}$	71
	2	$72\frac{5}{8}$	$72\frac{1}{8}$
	3	$74\frac{1}{8}$	$73\frac{7}{8}$
	4	$74\frac{7}{8}$	74
	5	$75\frac{1}{4}$	$74\frac{5}{4}$

$5\frac{1}{2} : 5 = 0'909$

§. 64. Il y a une 3.eme expérience dont l'observateur donne le détail. C'est la 122.eme de l'ouvrage. Elle a été faite avec une lame de talc, sous l'influence d'un feu de charbon bien ménagé. En voici les résultats donnés par l'auteur.

Degrés observés.

		Au feu libre.	A travers la talc.
C	0′	65	65
	1	72	67
	2	77	$68\frac{5}{4}$
	3	$80\frac{1}{2}$	$69\frac{1}{2}$
	4	83	70
	5	85	$70\frac{5}{4}$

$20 : 5\frac{5}{4} = 0'287$

Dans cette expérience, les thermomètres employés sont l'un et l'autre différens de ceux qui ont servi aux deux expériences précédentes.

Outre ces expériences détaillées, l'auteur

en rapporte un très-grand nombre en simple résumé, dont je ne m'occuperai pas ici *.

CHAPITRE III.

Discussion des expériences précédentes.

§. 65. Je mets de côté le calcul de la transmission, fait par la méthode dont je viens de rendre compte : parce qu'il n'est pas fondé sur la loi d'échauffement que nous avons reconnu avoir lieu dans la nature (§. 40.). Et en effet il n'est pas difficile de voir, que les résultats de cette méthode présentent des anomalies bizarres. En particulier la transmission y paroît suivre quelque fonction du tems. A la 1.ere minute, le verre sembleroit, par cette méthode, intercepter plus de rayons qu'à la 2.de ; plus à la 2.de, qu'à la 3.eme ; etc., contre toute vraisemblance. Mais ne nous occupons pas des difficultés d'une marche que son illustre auteur a très-probablement abandonnée, et attachons-nous à appliquer nos principes à ces faits intéressans.

§. 66. Discutons d'abord la 1.ere expérience

* Je les ai discutées dans le mémoire cité ci-dessus.

(la 24.ème de l'ouvrage), celle que j'ai désignée par la lettre A (§. 62.).

Dans toutes ces expériences, les tems croissent en progression arithmétique, 0, 1, 2, 3, 4, 5. Par conséquent, les différences de chaleur du thermomètre et du milieu doivent décroître en progression géométrique (§. 40.). Dans l'expérience A, les degrés observés au thermomètre exposé à la chaleur libre du soleil sont, au commencement des trois premières minutes, 67, 68 $\frac{3}{4}$, 70 $\frac{1}{8}$; ou en huitièmes de degrés, 536, 550, 561. Maintenant, si l'on suppose que la température du rayon solaire ait été (en huitièmes de degré) = 601; on trouvera que les différences de la chaleur du thermomètre à celle du milieu, savoir 65, 51, 40, sont en progression géométrique; ce qu'on n'obtiendra par aucun autre nombre. La loi prescrite nous force donc d'admettre ce nombre, pour l'expression de la chaleur du milieu où étoit placé le thermomètre. Cela étant, nous calculerons les termes suivans de la progression, nous en conclurons les degrés du thermomètre pour les minutes suivantes, et nous les comparerons aux degrés observés. C'est l'objet de la petite table suivante, où tous les nombres expriment des huitièmes de degré.

Chaleur du milieu, conclue des 3 premiers termes. . . . 601.

	Degrés observés.	Degrés calculés.	Différences en progr. géom.
0	536	536	65
1	550	550	51
2	561	561	40
3	571	570	31
4	579	576	25
5	584	582	19

On peut observer, que les trois derniers degrés calculés sont d'accord avec les degrés observés, avec un écart de moins de trois huitièmes *.

§. 67. Maintenant nous allons faire la même opération pour les observations collatérales, faites avec le thermomètre que garantissoit un peu une lame de verre blanc bleuâtre (§. 62.). Mais il y a ici une remarque à faire : la progression des différences du premier thermomètre et du milieu a pour quotient $\frac{65}{51}$; il convient d'examiner si celle du second thermomètre doit avoir le même quotient. Or il paroît qu'en effet cela doit être ainsi ; car ce second thermomètre part du même point, son échelle d'échauffement est comprise en entier dans celle du premier thermomètre, et ces deux

* Comme on le verra, si on reprend le calcul en tenant compte des fractions de degré inférieures à $\frac{1}{6}$.^me^

instrumens ont été choisis avec une attention scrupuleuse, de manière à avoir précisément la même sensibilité. Ainsi par un même accroissement de chaleur, chacun d'eux, en même tems, se meut d'une même quantité. Si, par exemple, la température du milieu excède, de part et d'autre, celle du thermomètre de 65 huitièmes de degré; on doit s'attendre que l'un et l'autre, en une minute, en acquerra 14, et ne différera plus de la source que de 51 huitièmes de degré. Mais, en chaque thermomètre, cette proportion étant constante dans les échauffemens subséquens (d'après la loi), il est clair que le quotient ou exposant est le même pour les deux thermomètres, dans toute l'étendue de la progression.

§. 68 Il n'en seroit pas ainsi, si les thermomètres n'étoient pas également sensibles. Par conséquent, en passant d'une expérience à l'autre, il conviendra de remarquer si les thermomètres ont changé; et, en ce cas, de chercher de nouveau le quotient de la progression.

§. 69. J'en viens enfin à la partie de l'expérience A, qui nous reste à examiner. Il s'agit du thermomètre garanti de l'action du soleil par une lame de verre blanc bleuâtre. Prenant donc les deux premiers nombres donnés par l'observation, savoir, ceux qui répondent au

commencement et à la fin de la 1.re minute de l'expérience, nous déterminerons celui qui a dû exprimer la chaleur du milieu, pour que les différences des deux premiers nombres à celui-ci soient entr'eux comme 65 est à 51; et formant successivement les autres termes de cette progression, nous en conclurons les degrés pour les quatre minutes suivantes, afin de les comparer aux degrés observés. C'est l'objet de la petite table suivante, en huitièmes de degré.

Chaleur du milieu. . . . . 578.

	Degrés observés.	Degrés calculés.	Différence en progr. géom.
0′	536	536	42
1	545	545	33
2	553	552	26
3	560	558	20
4	567	562	16
5	572	565	13

Les nombres calculés et observés diffèrent ici de 1 jusqu'à 7 huitièmes de degré. Je dirai plus bas à quoi j'attribue cet écart (§. 74.).

§. 70. Supposant maintenant que les chaleurs de l'un et de l'autre milieu (celle du rayon libre et celle du courant qui agit sous le verre) aient été bien appréciées, il ne reste plus qu'à les comparer. Leur rapport est celui de 601 à 578; et par conséquent, la quantité interceptée = 0, 038.

§. 71. Passons à l'expérience suivante, qui est la 25.eme de l'ouvrage, et que j'ai désignée par la lettre B (§. 63.). Cette expérience a été faite avec les mêmes thermomètres que la précédente. Le corps mis en expérience étoit une lame de *flint-glass*. En calculant cette expérience comme la précédente, et en prenant $\frac{65}{51}$ pour le quotient de la progression des différences, on aura, en huitièmes de degré, les résultats comparés qu'indique la table suivante.

Au soleil libre. Chaleur du milieu..... 614.

	Degrés observés.	Degrés calculés.	Différence en progr. géom.
0'	558	558	56
1	570	570	44
2	581	579	35
3	593	587	27
4	599	593	21
5	602	597	17

A travers le flint-glass. Chaleur du milieu. .... 604.

	Degrés observés.	Degrés calculés.	Différence en progr. géom.
0'	558	558	46
1	568	568	36
2	577	576	28
3	591	582	22
4	592	587	17
5	598	590	14

Rapport des deux chaleurs 604 : 614.
Interception. ..... 0'015.

§. 72. En jetant les yeux sur cette table, on voit que les deux thermomètres ont montré un échauffement plus rapide dans les dernières minutes que le calcul ne l'annonçoit. Le thermomètre, au soleil libre, présente un excès de 1 jusqu'à 6 huitièmes de degré, qui diminue à la fin et se réduit à 5 huitièmes. Le thermomètre garanti par le *flint-glass* présente un excès, qui varie irrégulièrement de 1 à 9 huitièmes. Cet écart, pour le thermomètre garanti, est dans le même sens que celui de l'expérience précédente, et sera expliqué de même ci-dessous (§. 74.). L'écart du thermomètre exposé au soleil libre ne peut s'expliquer qu'en supposant quelque cause particulière d'irrégularité.

§. 73. La 3.ème expérience qu'il nous reste à examiner est celle qui a été faite avec une lame de talc, sous l'influence de la chaleur d'un feu de charbon bien ménagé. C'est la 122.ème de l'ouvrage, et celle que j'ai désignée par la lettre C (§. 62.). Comme, dans cette expérience, les thermomètres ne sont pas les mêmes que dans les expériences précédentes; nous chercherons de nouveau la progression, selon laquelle s'est fait l'échauffement au feu libre, pendant les deux premières minutes, afin d'en conclure les degrés suivans. Car la

sensibilité de ces nouveaux thermomètres peut différer des précédens. Mais comme les deux thermomètres employés à la fois pour une même expérience ont toujours été choisis de manière à avoir exactement la même sensibilité; nous emploierons, pour le thermomètre garanti par le talc, la même progression, que nous aurons reconnue dans la marche du thermomètre exposé au feu libre. Il résulte de ce calcul la table suivante, toujours en huitièmes de degré.

Au feu libre. Chaleur du milieu..... 716.

	Degrés observés.	Degrés calculés.	Différence en progr. géom.
0'	520	520	196
1	576	576	140
2	616	616	100
3	644	645	71
4	664	665	51
5	680	680	36

A travers le talc. Chaleur du milieu..... 576.

	Degrés observés.	Degrés calculés.	Différence en progr. géom.
0'	520	520	56
1	536	536	40
2	550	547	29
3	556	556	20
4	560	561	15
5	566	566	10

La progression des différences a ici pour quotient $\frac{7}{5}$, au lieu de $\frac{65}{51}$. Ainsi les thermomètres recevoient, en tems égal, de la source calorifique, une aliquote de chaleur un peu moindre que les précédens. Cependant la différence n'est pas très-considérable. Du reste, on peut bien dire que, dans cette expérience, le calcul et l'observation sont parfaitement d'accord. Ce n'est pas la peine de remarquer des différences aussi petites, et qui seroient encore plus insensibles, si j'avois tenu compte des fractions de degré inférieures à un huitième, ce que je n'ai pas cru devoir faire. Cet accord est d'autant plus remarquable, que c'est précisément ici l'expérience qui a offert quelque chose de particulier, d'où l'on auroit pu craindre quelque irrégularité dans les résultats. Le talc s'est calciné par l'action du feu, dans le cours de l'expérience; et de transparent qu'il étoit, il est devenu parfaitement opaque. Néanmoins il paroît que l'action de la chaleur sous le talc, de minute en minute, a suivi un cours parfaitement régulier et uniforme. En voici le calcul :

Rapport des deux chaleurs..... 716 ; 576.
Interception . . . . . 0'196

§. 74. Tels sont les résultats que nous offrent les trois expériences dont l'auteur a consigné

le détail dans son ouvrage. Il est tems de dire un mot de la cause à laquelle j'attribue, dans les deux premières expériences, l'excès d'échauffement, qui a été observé au thermomètre garanti, dans les dernières minutes de leur durée (§§. 62, 63.). Je crois qu'il dépend de la chaleur accumulée dans le corps interceptant. A l'instant où ce corps s'échauffe, il contribue à faire monter le thermomètre voisin. Si la marche de cette accumulation de chaleur étoit très-régulière, son effet se confondroit avec celui des rayons transmis. C'est, je pense, ce qui a eu lieu dans la 3.eme expérience, C, où la progression des différences n'est guères moins exacte pour le thermomètre garanti, que pour l'autre. Mais si l'accumulation est accélérée (c'est-à-dire, si le rapport des rayons accumulés aux transmis est plus grand, en tems égal, vers la fin de l'expérience qu'au commencement); son effet croissant se fera sentir au thermomètre, qui se mouvra comme il s'est mû dans les deux premières expériences. A quoi donc peut tenir une pareille accélération; et quelle raison peut-on imaginer, pour qu'elle ait lieu dans un cas, et non dans l'autre? On ne sauroit, je crois, l'imputer à aucune cause plus probable, qu'à l'épaisseur de la lame, ou à la foiblesse de la source de chaleur.

§. 75. Supposons qu'on présente un verre épais à un foyer de chaleur. Il s'échauffera du côté du feu ; et conduisant mal la chaleur, il restera quelque tems froid du côté opposé. Ainsi, pendant la 1.re minute peut-être, un thermomètre, placé de ce dernier côté, n'accuseroit aucun échauffement ; mais peu à peu, dans les suivantes, cet échauffement se feroit sentir. Je présume que c'est ainsi que les choses se sont passées dans les deux premières expériences, A, B, et en particulier dans la seconde, B (§. 62.). Dans celle-ci, la lame de *flint-glass* avoit environ trois lignes d'épaisseur. L'observateur donne cette mesure, tandis qu'il ne dit rien de l'épaisseur des autres lames. Il est probable que celles-ci étoient plus minces, en particulier celle de talc ; et cela pourroit expliquer la régularité de l'une de ces expériences, et l'irrégularité de l'autre.

§. 76. Joignez à cela que, dans la 3.me expérience, C, la source de chaleur (le feu de charbon) avoit plus d'intensité, ou d'activité, que celle (les rayons solaires) qui agissoit dans les deux autres ; puisque, dans le même espace de cinq minutes, elle a amené le thermomètre libre de 65° à 85 ; tandis que le thermomètre libre, dans les deux autres expériences, n'a monté que de 5 ou 6 degrés,

compris entre ces extrêmes. Or il est probable, que si deux lames sont de même nature et de même épaisseur, mais que l'une soit exposée à une chaleur forte et l'autre à une chaleur foible ; la première sera traversée plus tôt que la seconde par la chaleur accumulée : en sorte que touchant, à la fin de la 1.re minute, par exemple, la face non exposée de chacune des deux lames, il se pourra faire qu'on sente l'une froide et l'autre chaude.

§. 77. Par deux raisons donc, l'expérience 3.me, C, a dû offrir des résultats réguliers ; 1. parce que probablement la lame étoit mince, 2. parce que la source de chaleur étoit grande; d'où il résultoit, que la chaleur accumulée l'avoit traversée dès la fin de la 1.re minute : en sorte que l'accumulation et le rayonnement qui en est la suite, croissoient de minute en minute, selon la même loi d'échauffement selon laquelle s'échauffoit d'ailleurs la boule du thermomètre, si quelque chaleur étoit transmise sans obstacle.

§. 78. Et si la 2.de expérience, B, offre plus d'irrégularités que la 1.re, A ; cela pourroit bien tenir en partie à la plus grande épaisseur du *flint-glass*. Cependant d'un côté, nous ne pouvons rien affirmer sur l'épaisseur du verre blanc bleuâtre, qui n'est pas indiquée ; et de

l'autre, l'échauffement au soleil libre offre, dans cette même expérience, B, des écarts, qui vont jusqu'à 6 huitièmes de degré (§. 62.). Pourroit-on les attribuer à quelque légère variation dans la source même de chaleur, pendant le cours de l'expérience?

§. 79. Je pense en avoir dit assez, pour rendre probable la cause à laquelle j'attribue cette espèce d'irrégularité apparente, qui consiste dans l'accélération de l'échauffement du thermomètre garanti. Cette cause doit avoir été l'inégale action de la chaleur accumulée sur le corps interceptant, au commencement et à la fin de l'expérience.

§. 80. Il résulte de ces considérations, et de la distinction entre les deux chaleurs, transmise et accumulée, que l'interception calculée ci-dessus, dans chacune des trois expériences que nous avons rapportées (§. 62.), n'est, à proprement parler, qu'une limite en dessous, et laisse indéterminée la limite supérieure. Car, comme nous ne savons point le rapport des deux chaleurs, transmise et accumulée, nous ne pouvons point déterminer l'influence de chacune d'elles sur le résultat. Si la chaleur librement transmise agissoit seule, nous aurions une progression régulière de différences, comme on l'a au soleil et au feu libre; les

degrés calculés s'accorderoient tout aussi bien avec ceux qu'a donnés l'observation. Mais il y a excès dans les derniers termes ; et cet excès doit provenir de la chaleur accumulée : celle-ci a donc agi et manifesté son influence. D'un autre côté, la transmission libre peut avoir été fort petite ; on pourroit même la supposer nulle, et attribuer à la chaleur accumulée tout l'effet observé sur le thermomètre garanti. Ainsi l'on peut bien dire, que la transmission réelle n'a pas été plus grande que la transmission calculée, puisque le calcul suppose tout l'effet produit par cette chaleur ; mais elle peut et doit même avoir été moindre, puisque cet effet a certainement été produit, en partie au moins et peut-être en totalité, par une autre cause. L'interception peut donc avoir été totale, ou très-grande, mais jamais moindre, que celle que le calcul nous a donnée. C'est en ce sens qu'il faut prendre tous nos résultats obtenus jusqu'ici, et tous ceux que nous allons rechercher encore.

CHAPITRE IV.

Suite.

J'AI discuté ces expériences d'après l'observation immédiate. On peut aller un peu au-delà, et en tirer d'autres conséquences.

§. 81. Il y auroit quelque intérêt à examiner, d'après les calculs précédens, combien il auroit fallu que chaque expérience durât, pour que le thermomètre atteignît le maximum d'échauffement, c'est-à-dire, la température de la source, ou du milieu dans lequel il étoit plongé; car c'est à cette époque, qu'on auroit pu comparer immédiatement les degrés des deux thermomètres (exposés, l'un à la chaleur libre, et l'autre à la chaleur gênée par l'interception), afin d'en conclure le rapport des deux sources.

§. 82. Cependant une difficulté se présente. Il est facile de continuer les termes de la progression au soleil libre, et d'en conclure les degrés qu'on auroit observés dans les minutes suivantes. Mais pour le thermomètre garanti, comment tenir compte de l'effet inégal de la chaleur accumulée dans la lame interceptante? Arrivée à un certain point, cette chaleur accumulée n'en développera-t-elle point même de nouvelle

nouvelle (comme il semble que cela a lieu dans les boules d'argile échauffées au feu d'un foyer)?

§. 83. Quoiqu'il en soit, comme ceci n'intéresse point l'échauffement au soleil et au feu libre, nous pouvons du moins examiner ce cas. J'y joindrai le calcul de l'échauffement sous le talc, à cause de sa régularité, qui semble indiquer que, dans les termes suivans, la progression auroit été constante.

§. 84. Comme l'observateur tient compte des huitièmes de degré, et non d'aucune fraction moindre, l'échauffement paroîtra fini plus tôt qu'il ne l'est réellement. Ainsi, vers la fin, on ne remarquera plus de différence sensible pendant une minute; mais, en attendant deux ou trois minutes, cet accroissement se fera remarquer. Je trouve que, dans la 1.ere expérience, A, au soleil libre, le thermomètre auroit continué jusqu'à la 12.me minute d'accuser, de minute en minute, un accroissement de chaleur sensible: il auroit alors marqué 598 huitièmes de degré. Il se seroit passé encore quelques minutes, avant que le thermomètre eût acquis sensiblement (c'est-à-dire, à un huitième près) la chaleur totale de la source, qui, selon notre calcul (§. 66.), étoit de 601 huitièmes de degré.

§. 85. Je laisse l'expérience faite avec le *flint-glass*, B, à cause de son irrégularité.

§. 86. Celle où le talc a été employé, C, nous fait voir, qu'au feu libre, il auroit aussi fallu 12', pour amener le thermomètre si près de la température du milieu, que l'échauffement, en une minute, fût devenu insensible (c'est-à-dire, moindre qu'un huitième de degré). A cette époque, il n'auroit différé que d'environ 3 huitièmes de degré de la température du milieu, qu'il auroit assez vite atteinte.

§. 87. Dans cette même expérience, le thermomètre couvert de la lame de talc n'auroit requis que 9', pour arriver au terme auquel une minute de plus ne produit aucun effet sensible. A cette époque, la chaleur du thermomètre auroit différé de celle du milieu d'un peu moins de 3 huitièmes de degré; et 3 minutes après, c'est-à-dire, à la 12.ème minute de l'expérience, ces deux chaleurs n'auroient pas différé sensiblement; je veux dire, qu'elles auroient différé d'une quantité moindre qu'un huitième de degré, qui est la fraction la plus petite dont l'observateur ait tenu compte.

§. 88. On a ici la confirmation d'une loi que nous avons remarquée (§. 44.). L'échauffement par la source la moins chaude se termine sensiblement plus tôt que l'échauffement par la source la plus chaude.

§. 89. Il est bien vrai qu'il n'en est pas de même si l'on compare l'échauffement par le feu libre à l'échauffement par le soleil libre. Celui-ci, dans l'expérience A, provenoit d'une source moins chaude que celui-là, dans l'expérience C (§. 62.). Et cependant les deux échauffemens seroient parvenus en même tems à leur maximum sensible. Mais il faut remarquer que les thermomètres, dans ces deux expériences, n'étoient pas pareils; et que comme celui de l'expérience C recevoit plus de calorique en tems donné (§. 73.), il n'est pas étonnant que son échauffement en ait été accéléré. On voit même clairement que si, malgré cette circonstance, il n'a pas été plus rapide que celui de l'expérience A; c'est précisément parce que, d'après la loi, il devoit être d'ailleurs plus retardé.

§. 90. En conséquence de toutes nos distinctions et explications précédentes, je me demande: quels sont les phénomènes successifs que doit offrir un thermomètre placé derrière une lame interceptante? 1. Au premier instant, la chaleur transmise doit agir; mais probablement elle n'est qu'une foible aliquote de la source de chaleur qui atteint la lame. 2. Bientôt la chaleur absorbée par la lame s'y accumule assez pour rayonner, et envoyer au

thermomètre des émanations calorifiques. Cette influence suit le progrès de l'échauffement de la lame. 3. Enfin la lame s'échauffe au maximum qu'elle peut atteindre; alors le thermomètre se trouve dans un courant de chaleur constante et se fixe.

§. 91. De quelle quantité, la chaleur sous cette lame différera-t-elle finalement de la chaleur libre? Si la lame étoit plongée toute entière dans la source de chaleur, de sorte que celle-ci l'enveloppât de toutes parts, comme un bain; on sait que la lame acquerroit enfin la température de la source. Mais, n'étant en contact avec elle que par une de ses faces, elle doit s'échauffer moins que si toutes deux lui fournissoient du calorique; en sorte que, par cette raison, elle ne peut atteindre le degré de chaleur de la source. Il y a un moment, où la lame a acquis son maximum de chaleur. C'est celui où elle perd autant par ses deux surfaces, qu'elle acquiert par une seule. Et ce maximum est nécessairement moindre, que si elle acquéroit par toutes deux; par conséquent, moindre que la température de la source.

De plus, la chaleur réfléchie n'échauffe pas le corps qui la réfléchit. Il faut donc déduire de la source de chaleur tous les rayons réflé-

chis, lorsqu'il s'agit d'estimer l'échauffement de la lame interceptante.

Le thermomètre placé sous le verre reçoit donc, 1. les rayons transmis instantanément; 2. les émanations de la chaleur accumulée dans le verre. Mais il ne reçoit pas les rayons réfléchis; et la chaleur du verre a un maximum moins élevé, que si le verre étoit plongé dans un milieu de même chaleur que la source.

§. 91. Il faut modifier par ces dernières remarques une expression, que nous avons employée constamment dans le cours de cette discussion. Lorsque nous avons parlé de la chaleur de la source, à laquelle le verre ou le talc étoit exposé; lorsque nous avons calculé l'intensité de cette chaleur, et lorsque nous avons supposé que le thermomètre placé sous le verre y pourroit atteindre; nous avons toujours voulu parler de la source de chaleur qui est efficace, déduction faite des rayons réfléchis, et qui agit sur le corps qu'on y expose comme s'il étoit plongé dans un milieu de la température indiquée.

Les expériences de Mr. Leslie, que je rapporterai ci-dessous, offrent sur la transmission et l'interception de la chaleur divers faits intéressans (§. 151. et suiv.).

§. 92. La théorie précédente présente,

comme on voit, en tout échauffement, trois espèces de chaleur. La 1.ere est celle qui est immédiatement reçue, dans un instant donné, par le corps qui s'échauffe. La 2.de est la chaleur accumulée et emmagasinée dans ce même corps, en vertu de l'échauffement qui a eu lieu dans les instans précédens. La 3.eme est la chaleur rayonnante, qui est l'effet des deux précédentes, et qui sort incessamment du corps, à mesure que les autres y entrent.

La considération de ces trois chaleurs distinctes a de l'influence dans plusieurs phénomènes.

SECTION IV.

De la réflexion du calorique.

CHAPITRE I.

Échauffement produit avec l'appareil des deux miroirs concaves conjugués.

§. 93. « Lambert, » dit Mr. Pictet, « avoit déjà observé que ce qu'il appeloit la » chaleur obscure, ou la chaleur sans lumière, » étoit susceptible de réflexion *. »

On sait que Lambert a fait cette remarque dans sa Pyrométrie (§§. 378 et suiv.). Il attribuoit à cette espèce de chaleur l'effet d'un charbon ardent, placé entre deux miroirs concaves, pour allumer un corps combustible à 20 pieds de distance **.

§. 94. Mr. Pictet tenta, de concert avec H. B. de Saussure, des expériences sur ce sujet. Voici comme il décrit son appareil, qu'une découverte brillante a rendu célèbre.

---

* *Essai sur le feu*, §. 48.

** Bacon demandoit si les chaleurs obscures ne pourroient pas être exaltées par les verres, comme les chaleurs lumineuses. *Instaurat.* L. V. c. 2.

« Nous plaçâmes, dans un assez grand » salon, deux miroirs concaves d'étain..... » Ils étoient vis-à-vis l'un de l'autre, à 12 » pieds 2 pouces de distance. Ils ont un pied » de diamètre, leur courbure est celle d'une » sphère de 9 pouces de rayon, et ils ne sont » que médiocrement polis.

» Au foyer de l'un de ces miroirs, étoit un » thermomètre de mercure à boule isolée, et » nous mîmes au foyer de l'autre un boulet de » fer d'environ deux pouces de diamètre, » chauffé seulement au point de n'être pas lu- » mineux ou visible dans l'obscurité.

» La présence de ce boulet fit monter, en » 6 minutes, le thermomètre placé au foyer » de l'autre miroir, de 4 degrés à $14\frac{1}{2}$, où il » s'arrêta; et il commença à redescendre à » mesure que le boulet se refroidissoit *. »

§. 95. Ce physicien substitue ensuite avec succès un matras plein d'eau bouillante au boulet de fer, et un thermomètre d'air très-sensible au thermomètre de mercure.

§. 96. Il éloigne les miroirs concaves, dont l'un est d'étain, l'autre de plâtre doré, jusqu'à la distance de 69 pieds. Et l'effet du boulet sur le thermomètre lui paroît instantanée.

* Ibid. §. 49.

CHAPITRE II.

Refroidissement produit avec le même appareil.

§. 97. « Je m'entretenois de ces expériences », ajoute Mr. Pictet, » avec Mr. Ber» trand *, professeur célèbre de mathéma» tiques dans notre académie, et élève de l'im» mortel Euler. Il me demanda si je croyois » que le froid fût susceptible d'être réfléchi... »

» Je disposai l'appareil précisément comme » pour la réflexion de la chaleur. J'employai » les deux miroirs d'étain, à la distance de 10 » pieds et ½ l'un de l'autre. Au foyer de l'un, » étoit un thermomètre d'air, qu'on observoit » avec les précautions requises; et au foyer » de l'autre, un matras plein de neige. »

» A l'instant où le matras fut en expérience, » le thermomètre, placé à l'autre foyer des» cendit de plusieurs degrés; il remonta dès » qu'on enleva le matras. »

» Après avoir remis le matras au foyer, et

* Auteur du *Développement de la partie élémentaire des mathématiques* et de l'ouvrage intitulé *Renouvellemens périodiques des continens terrestres*, à Genève chez J. J. Paschoud.

» fait ainsi descendre le thermomètre jusqu'à » un certain degré, où il demeura station- » naire; je versai de l'acide nitreux sur la » neige, et le froid produit fit à l'instant des- » cendre le thermomètre de 5 à 6 degrés plus » bas *. »

§. 98. Mr. Pictet a soin de rappeler, dans une note, la tentative des Académiciens *del Cimento*, pour concentrer le froid au foyer d'un miroir concave. On peut ajouter à ce fait historique l'indication suivante donnée par Bacon. « La chaleur par les verres acquiert de l'inten- » sité; en est-il de même du froid? ** » C'est de Bacon probablement, que quelques auteurs subséquens avoient emprunté la même idée ***. Quoiqu'il en soit, l'honneur de cette découverte appartient, sans aucune contestation, à l'habile observateur qui l'a constatée par des expériences exactes, et qui en a compris l'importance.

---

* Ibid. §. 69.

** *Instaurat. L. V. c. 2.*

*** « Les miroirs ardens concentrent la chaleur; » peuvent-ils concentrer le froid? » Logique de Félice, T. II. p. 62. J'ai ouï dire (mais je n'en ai point la preuve), que l'auteur de cette logique avoit fait usage des cahiers du célèbre professeur Cramer.

CHAPITRE III.

Explication de ce double phénomène.

§. 99. La réflexion de la chaleur et la réflexion du froid s'expliquent, dans la théorie de l'équilibre mobile, avec une égale facilité.

Feignons, dans l'appareil à double miroir, deux corps placés, l'un à un foyer, et l'autre à l'autre. Que ces corps soient pareils et dans des circonstances absolument semblables à tous égards.

Et d'abord, que ces corps soient d'égales températures. Ils feront entr'eux des échanges égaux. Il y aura équilibre. Si ces corps sont deux boules de thermomètre, leur radiation mutuelle ne les affectera point. Les deux thermomètres resteront immobiles.

Ensuite supposons que l'on échauffe l'un de ces deux corps focaux, que l'on y verse du nouveau calorique. Aussitôt cet excès commencera à rayonner. Et par la voie de la double réflexion, il en parviendra une grande partie à l'autre corps focal. Celui-ci n'enverra rien en échange de cet excès. Il y aura donc pour lui plus de calorique reçu que de calorique émis. Il s'échauffera. Et si c'est une boule de thermomètre, cet instrument montera.

Enfin, partant de nouveau de l'équilibre, feignons qu'on refroidisse un des corps focaux, qu'on lui enlève une partie de son calorique. Ce déficit de chaleur interne produira un déficit dans l'émission (§§. 18. 31.). Une grande partie de cette émission supprimée parvenoit à l'autre corps focal par voie de double réflexion. Celui-ci cependant continuera son émission au complet; et pour toute la partie qui représente le déficit, il ne recevra rien en échange. Il y aura donc pour lui plus de calorique émis que de calorique reçu. Il se refroidira. Et si c'est une boule de thermomètre, cet instrument descendra.

C'est ainsi qu'une même formule comprend les deux cas, et qu'il ne s'agit que de substituer les signes ou termes négatifs aux signes ou termes positifs, en passant du chaud au froid, dans l'application des principes : ce qui paroît un caractère de vérité.

§. 100. Il ne sera peut-être pas absolument inutile de dire la même chose en d'autres termes, et de présenter ces expressions générales sous forme d'exemple.

Supposons que deux corps, A, B, occupent les deux foyers de nos miroirs concaves conjugués; supposons que ces deux corps s'envoient mutuellement, par double réflexion,

1000 élémens de calorique. Il y a donc équilibre. Ajoutons au corps A, assez de calorique pour qu'il envoie à B, par double réflexion, 100 élémens de plus qu'il ne faisoit tout-à-l'heure. L'ancien échange continue, mais les 100 élémens additionnels, qui parviennent à B, sont reçus par lui, sans qu'il fasse aucune émission en compensation. Donc B s'échauffera. Au lieu d'ajouter du calorique au corps A, retranchez-lui assez de calorique pour qu'il envoie à B, par voie de double réflexion, 100 élémens de moins, qu'il ne faisoit lorsqu'il y avoit équilibre. Il y aura échange égal, entre A et B, pour 900 élémens. Mais comme B en envoie 1000, tandis que A n'en envoie que 900, il arrivera que B en émettra 100 sans en recevoir aucun en compensation. B sera refroidi.

On voit que de part et d'autre, les circonstances sont les mêmes, mais en sens inverse. Tout, dans cette double explication, forme un parfait parallèle *.

* Ici et ailleurs, on trouvera peut-être que j'insiste trop sur la réflexion du froid, et que je donne à mes explications sur ce point un trop grand degré de développement. Mais j'ai dû le faire, puisque, faute sans doute d'être entré plus tôt dans dans tous ces détails, j'ai laissé, à ce qu'il paroît, quelque chose à désirer à

CHAPITRE IV.

Remarque sur d'autres expériences relatives à la réflexion du calorique.

§.101. L'EXPÉRIENCE du cornet, mentionnée par Mr. le C. de Rumford dans ses *Mémoires sur la chaleur, Paris* 1804, *p.* 146, sera plus commodément discutée dans la section suivante (§§. 112 et suiv.). Je réserve une section particulière aux expériences de ce même physicien sur les divers effets des corps réflecteurs et non-réflecteurs (§§. 116 et suiv.). Les expériences de Mr. Leslie, que j'ai rassemblées, se rapportent en très-grande partie à la réflexion du calorique, envisagée sous divers points de vue (§§. 146 et suiv.).

ce sujet; comme j'en puis juger par les expressions d'un grand chimiste. Après avoir introduit mon opinion « comme se conciliant de la manière la plus satisfaisante » avec les faits » (Système de chimie de Th. Thomson, trad. par Mr. Riffault, Paris, 1809, T. II. p. 121.), il trouve pourtant que mon explication de cette expérience de la réflexion du froid ne suffit pas (Ibid. p. 248.). Ce célèbre chimiste ne dit point en quoi cette expérience lui semble faire exception aux faits que j'explique à sa satisfaction. Je ne puis donc aller au-devant de ses objections, qu'en détaillant assez mes explications, pour qu'il soit facile de juger de leur solidité.

SECTION V.

De l'effet d'une surface réfléchissante, pour changer la température des corps soumis a son influence.

Quoique j'aie essentiellement en vue la réflexion, je dirai occasionnellement un mot de la réfraction. Mon dessein est de combiner ces affections avec les autres propriétés du calorique, énoncées dans sa constitution (§. 10.); et d'en tirer quelques résultats, pour en faire l'application aux faits observés.

CHAPITRE PREMIER.

Quelques détails de théorie sur la réflexion du calorique, et occasionnellement sur la réfraction.

§. 102. On a coutume, en parlant de la lumière, d'appeler *réflecteurs* les corps polis, dont la surface opère une réflexion régulière. On peut cependant, même quant à la lumière, étendre ce mot aux corps non polis, qui la réfléchissent irrégulièrement (tels que les corps blancs mats), par opposition à ceux qui l'ab-

sorbent. L'analogie peut faire appliquer au calorique rayonnant la théorie de la lumière réfractée et réfléchie, du moins entre certaines limites, qui doivent être marquées par l'expérience. Les expériences de Mrs. Pictet, Herschel, Rumford, et Leslie, peuvent, à cet égard; nous servir de guides.

§. 103. On distingue les réflecteurs en parfaits et imparfaits. Lorsqu'il est question d'un réflecteur imparfait, la manière la plus simple de le considérer est de le diviser mentalement en deux surfaces; l'une réflecteur parfait; l'autre, non-réflecteur. Cela étant entendu, tout ce qu'on dira de la réflexion opérée par les réflecteurs parfaits sera dit aussi de celle qu'opèrent les imparfaits; avec cette seule différence, qu'à même étendue de surface, les effets produits par les réflecteurs parfaits seront plus considérables, que ceux qu'on obtient par les imparfaits; comme aussi les effets produits par les non-réflecteurs, dans leur genre, seront supérieurs à ces mêmes effets produits par ceux qui ne sont qu'imparfaitement non-réflecteurs. Et cette différence sera, pour les réflecteurs, proportionnelle à la différence de la surface entière à sa partie réfléchissante.

§. 104. Ces remarques préliminaires trouveront dans peu leur application. Mais il faut auparavant

auparavant poser encore quelques principes. Et d'abord, pour commencer à combiner la réflexion avec les autres propriétés du calorique, rappelons sommairement celles-ci et présentons le phénomène sous l'aspect qui nous intéresse. Dans tout ce qui va suivre nous supposerons connus et accordés les principes suivans (§. 10.).

1. Le fluide discret rayonnant dont nous nous occupons, est formé de particules fort petites, éloignées les unes des autres, dont chacune se meut en ligne droite, d'un mouvement uniforme et rapide, les unes en un sens, les autres dans l'autre; de sorte qu'en tout sens, il y a une ligne de particules qui se suivent et se meuvent constamment et sans relâche, ou un *filet* constant de particules.

2. Il suit de cette constitution que tout point de l'espace, dans lequel ce fluide se meut, est un centre, auquel tendent et duquel partent sans cesse (sans interruption sensible) en tout sens des filets de particules.

3. Ce fluide est réfléchi comme la lumière. Ainsi l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion et dans le même plan que lui.

4. Par conséquent, d'un point donné sur le réflecteur, à un point donné de l'espace,

le rayon réfléchi résulte d'un rayon incident, donné de situation, et partant unique.

§. 105. Ces principes sont comme des espèces de lemmes, à l'aide desquels nous pourrons établir solidement la proposition suivante.

Proposition. Selon la théorie de l'équilibre mobile, dans un lieu de température uniforme, un réflecteur ne change point la température des corps exposés à son influence.

Déduction. 1.° Je suppose le réflecteur purement tel, c'est-à-dire, une simple surface réfléchissante, qui soit un réflecteur parfait, et qui ne laisse émaner aucun rayon de son intérieur; en un mot, réfléchissant tout rayon qui atteint sa surface : ce qui emporte que celle-ci n'en transmet aucun, ni antérieurement ni postérieurement (ni du dehors au dedans, ni du dedans au dehors). 2.° Quand je dis qu'un réflecteur ne change point la température, je m'exprime universellement. Ainsi j'entends que, quelle que soit la forme de ce réflecteur; quelle que soit sa situation, son étendue, sa nature, sa distance; la proposition est vraie.

Emblême. Soit un thermoscope très-sensible, plongé dans un milieu de température

uniforme. Et sur la boule de ce thermoscope, soit déterminé un point *P* à volonté. Concevez un rayon, qui, lancé par un réflecteur, arrive à ce point *P*. Je dis, que ce rayon n'est pas un rayon additionnel, qui fût supprimé en supprimant le réflecteur; mais que, si l'on ôtoit le réflecteur, le point *P* recevroit un rayon précisément équivalent.

Démonstration. Sur le réflecteur, au point d'incidence, soit conçu l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion : et on aura tracé la route, qu'a suivie le rayon, qui a atteint le thermoscope au point *P*. Maintenant, prolongez le rayon réfléchi au-delà (et du côté intérieur) du corps ou de la surface réfléchissante : et vous aurez la route d'un rayon, qui atteindra le même point *P*, si l'on supprime le réflecteur. Donc, dans les deux cas (la surface réfléchissante étant, ou n'étant pas, supprimée), un même rayon, sous même direction, atteint le même point *P* du thermoscope. Et comme il n'y a aucun des points du thermoscope sur lequel on ne puisse faire le même raisonnement, il est rigoureusement prouvé qu'un réflecteur (tel que je l'ai défini) n'a absolument aucune influence pour faire mouvoir le thermoscope, où qu'il soit placé; c'est-à-dire, qu'il ne change rien à la tempé-

rature d'aucun point du lieu (de température uniforme) où il se trouve placé.

§. 106. Ce qui a été remarqué au sujet des réflecteurs imparfaits (§. 103.) suffit pour montrer que la démonstration s'y applique pleinement.

§. 107. Il seroit très-facile d'appliquer cette même démonstration à la réfraction, en supposant que le calorique se réfracte comme la lumière. Ainsi dans un lieu de température uniforme, une surface refringente ne changeroit point la température des corps exposés à son influence.

§. 108. Supposons maintenant *que le lieu ne soit pas de température uniforme, il pourra arriver que le réflecteur change la température des corps exposés à son influence.* Si, par exemple, dans une chambre où l'air est en général également tempéré partout, on place quelque part un corps plus chaud ou plus froid; et si l'on présente aux émanations de ce corps un réflecteur qui en transporte une partie sur un point P, auquel elles ne seroient pas parvenues sans cela; ce point en sera échauffé ou refroidi. En effet, si le corps est plus chaud que la température générale du lieu, le réflecteur envoie au point P des rayons plus abondans que ceux qu'il intercepte.

Et si le corps est plus froid, le réflecteur envoie au point *P* des rayons moins abondans que ceux qu'il intercepte.

Il ne seroit pas difficile d'étendre encore ceci au cas de la réfraction.

CHAPITRE II.

Expériences à ce sujet.

§. 109. LA seizième expérience des *Mémoires sur la chaleur* du C. Rumford est liée à ce sujet. Voici comment l'auteur la rapporte :

« On plaça sur leurs pieds respectifs mes » deux vases cylindriques, à goulot oblique, » bien nettoyés. On les mit à la hauteur et » dans le voisinage du thermoscope, dans un » grand salon tranquille, pendant assez de » tems pour que l'appareil pût acquérir la même » température dans toutes ses parties.

» On avoit exclu toute lumière venant du » dehors, et environné le thermoscope des » écrans dont on a parlé, de manière à mettre » ses boules à l'abri de toute influence calori- » fique provenant de l'observateur.

» Alors j'entrai dans la chambre, assez » lentement pour donner à l'air le moins de » mouvement possible; et m'approchant du

» thermoscope, je présentai à ses boules, » d'abord l'un, ensuite l'autre des deux vases » cylindriques. L'index demeura parfaitement » stationnaire. »

Voilà une belle confirmation expérimentale de la proposition démontrée ci-dessus (§. 105.). Je ne la connoissois pas, ou du moins, si elle m'avoit été communiquée verbalement (ce dont je n'ai aucun souvenir), je ne l'avois pas remarquée, à l'époque qui précéda presque immédiatement celle où je parvins à la démonstration de cette proposition, et où j'étois disposé à croire que, dans un lieu de température uniforme, un réflecteur, tourné subitement vers un corps, devoit augmenter sa chaleur. Une expérience, faite avec tant de soin, par un aussi excellent observateur, m'auroit détrompé plus tôt que je ne le fus.

§. 110. Au mois de mai 1804, Mr. Pictet, à ma demande et en ma présence, prépara un de ses thermoscopes sensibles, qu'il a décrits en détail dans son *Essai sur le feu* *, et en approcha brusquement le sommet ou la pointe d'un cône tronqué de fer-blanc **, sans que

* §. 56.

** L'idée de cette expérience, me vint à la suite de mes réflexions sur celles du C. de Rumford que je

le thermoscope en fût affecté. La température du local étoit uniforme. Le cône de fer-blanc avoit 9 pouces de haut sur $4\frac{1}{2}$ de base, et un pouce de diamètre à sa section supérieure. Le thermoscope étoit d'une extrême sensibilité, puisque la petite colonne de liquide coloré, servant d'index, parcouroit un intervalle de sept pouces et demi pour un seul degré (de R.) de changement dans la température. Nous n'aperçûmes dans cet index aucun mouvement appréciable, résultant de la présence ou de l'absence du cornet métallique auprès de la boule thermoscopique.

§. 111. Cette expérience n'exige aucune explication. Elle est une nouvelle confirmation de la proposition que j'ai démontrée au chapitre précédent (§. 105.) *. En effet, feignons un point du thermoscope, placé à la pointe du cornet conique. Si ce point reçoit un rayon

---

vais rapporter. C'est donc à cet illustre observateur qu'elle appartient dans l'origine.

* Il doit m'être permis de remarquer que cette confirmation est d'un degré plus satisfaisante pour moi, par la raison que, lorsque cette expérience fut faite, je n'étois point encore parvenu à la proposition dont elle est une conséquence. A cette époque, j'en attendois un autre résultat; et je la publiai comme une objection à résoudre. Voy. *Bibl. brit. T. XXVI. p. 26 et 211.*

réfléchi, il y a nécessairement un rayon pareil (c'est-à-dire, mu dans le même sens et sous la même direction), auquel le cornet fait obstacle et qu'il intercepte. Ce rayon est celui qui suit le prolongement du rayon réfléchi. Ainsi il ne pouvoit manquer d'arriver ce que nous avons vu arriver en effet, savoir, que la pointe du cornet, présentée au thermoscope, n'y produise aucun mouvement.

§. 112. Mr. de Rumford rapporte une expérience, faite avec un instrument semblable. « Un tube conique de cuivre jaune, bien poli » en dedans, interposé entre une des boules » du thermoscope *, et une boule mince de » cuivre, de trois pouces de diamètre, rem- » plie de glace pilée, qui lui fut présenté, à » la distance de douze pouces, a plus que triplé » l'effet de ce corps sur l'instrument **. »

---

* Le thermoscope du C. Rumford est si connu des physiciens que je juge absolument inutile de m'arrêter à le décrire. On sait que cet instrument est composé de deux boules mises en communication par un tube recourbé à ses deux extrémités, et qu'il est d'une extrême sensibilité. Cet instrument est décrit dans les *Mémoires sur la chaleur* de son illustre inventeur, dans le Traité élémentaire de Mr. Haüy, 2.de édit. §. 162, et dans la Bibl. brit. T. XXV. p. 203.

** Mémoires sur la chaleur par le C. de Rumford, Paris, 1804. p. 146.

§. 113. Cet effet n'est qu'une application de la proposition générale, que nous avons établie, sur l'effet d'un réflecteur dans un lieu dont la température n'est pas uniforme (§. 108.). Puisqu'à l'exception du globe de cuivre rempli de glace, le lieu est de température uniforme; avant qu'on emploie aucun réflecteur, la boule du thermoscope reçoit de tous les points (excepté le globe de cuivre) autant de rayons qu'elle en émet; ou, si l'on veut, chaque rayon émis par un point compense exactement le rayon qui entre par le même point selon la même ligne de direction; ou encore, chaque filet entrant est équivalent au filet sortant par la même droite. Il y a donc constamment des échanges égaux du thermoscope avec tous les points de l'espace ambiant, en exceptant le petit globe de glace. Lorsque l'effet de celui-ci aura atteint son maximum, et que l'instrument sera stationnaire; supposons qu'on place un réflecteur, tellement qu'il renvoie au thermoscope un ou plusieurs rayons émanés du globe, et qui alloient se perdre ailleurs: Il est clair, par tout ce qui précède, que l'un quelconque de ces rayons réfléchis, arrivant au thermoscope, remplace un autre rayon, qui y arrivoit d'ailleurs selon la même direction. Mais le nouveau filet de rayons, substitué ainsi au précé-

dent, est moins abondant en calorique que n'étoit celui dont il a pris la place; puisqu'il émane de la glace, tandis que l'autre émanoit d'un point plus chaud. Voilà donc un échange, égal avant la réflexion, inégal après la réflexion: et par conséquent, voilà une perte de chaleur pour le thermoscope, qui ne manquera pas d'indiquer ce refroidissement. C'est ainsi que la chose se passe dans l'expérience du tube conique de cuivre-jaune, poli intérieurement. Il ne réfléchit sur la boule du thermoscope aucun rayon venant du globe de glace, sans enlever à cette même boule du thermoscope un rayon sous même direction, qui émanoit d'un point plus chaud et que ce réflecteur intercepte. Je ne saurois voir ce qu'on pourroit ajouter à cette explication pour la rendre plus claire et plus satisfaisante.

§. 114. Dans le tems où je m'occupois de cette discussion, Mr. Pictet voulut bien disposer, dans son cabinet de physique, un appareil, pour répéter avec moi en détail cette expérience, qui lui étoit connue, quoiqu'elle n'eût point encore été publiée. Toutes les circonstances, que nous observâmes, confirmèrent pleinement les explications précédentes *.

* Les expériences qui suivent sont du 11 Juillet 1804. Elles sont rapportées dans la *Bibl. brit. T. XXVI. p. 215.*

Un petit vase de cuivre de 75 millimètres ($2\frac{7}{8}$ pouces de diamètre) ayant été préalablement rempli d'un mélange frigorifique, fut placé à la distance de 435 millimètres (16 pouces) d'un thermoscope à bulle d'air très-sensible *. La boule de ce thermoscope avoit 18 millimètres (8 lignes) de diamètre. La distance des centres de figure du thermoscope et du petit vase servoit d'axe à un cornet de fer étamé, poli intérieurement. La grande base de ce cône tronqué avoit 115 millimètres (4 pouces 3 lignes) de diamètre; la petite base, 29 millimètres (1 pouce 1 ligne). La hauteur du tronc ou cornet étoit de 244 millimètres (9 pouces).

On observoit le refroidissement, d'abord sans cône, puis en plaçant le cône, de manière que sa pointe regardât le thermoscope; ensuite en le retournant, de manière que la pointe regardât le vase réfrigérant. Et dans l'une et l'autre situation, on approchoit ou on éloignoit le cône du thermoscope.

Voici quels ont été les résultats principaux

* 203 millimètres ($7\frac{1}{2}$ pouces) font un degré de Réaumur dans ce thermoscope de Mr. Pictet, qui est de l'espèce de ceux dont il a donné la construction dans son *Essai sur le feu* §. 56.

de l'expérience ainsi variée. 1.° La présence du corps froid, sans cône intermédiaire, affectoit sensiblement le thermoscope. 2.° Dans la première situation, c'est-à-dire, lorsque la pointe du cône étoit tournée vers le thermoscope; la présence de ce réflecteur intermédiaire augmentoit évidemment et promptement l'effet frigorifique. 3°. Et il l'augmentoit d'autant plus, que la pointe du cône étoit plus voisine du thermoscope. Lorsqu'elle en étoit tout-à-fait voisine, la bulle colorée, qui dans le tube de ce thermoscope sert d'indice, faisoit 54 millimètres (2 pouces) de chemin en 30 secondes environ. 4.° Avec le cornet renversé, c'est-à-dire, la grande base regardant le thermoscope et la pointe le réfrigérant, l'effet de sa présence étoit inappréciable et insensible. 5.° On augmentoit l'effet du cornet, dans la première situation, si l'on plaçoit derrière le réfrigérant un miroir métallique concave, dont l'axe fût dirigé sur le thermoscope *.

§. 115. Tous ces résultats sont précisément ceux qu'on avoit droit d'attendre.

Lorsqu'on tourne la pointe du cornet vers le

---

* M. Pictet avoit vu le C. de Rumford se servir de ce moyen pour augmenter l'effet du cornet. C'est ce qui l'engagea à répéter l'expérience sous cette forme.

thermoscope, si celui-ci n'étoit qu'un point, et s'il occupoit exactement le sommet du cône, ce point ne recevroit aucun rayon réfléchi de l'intérieur du cône. Il n'en recevroit aucun, s'il étoit placé plus loin du cône que le sommet. Mais il pourra en recevoir, s'il est placé plus près. Et plus il sera près, plus ceux qu'il recevra pourront, avant leur incidence, être partis des régions voisines de l'axe et du centre de la grande base.

Il est vrai que le thermoscope et le vase frigorifique ne sont pas des points; aussi, quoique leurs centres soient sur l'axe, le premier reçoit des rayons venus du second, même lorsqu'on éloigne beaucoup le cône du thermoscope. Cependant il en reçoit beaucoup moins; et en conséquence, il atteste un moindre refroidissement. Il faut remarquer qu'il y a une double cause à cet effet. Car, lorsqu'on approche le cône du thermoscope, on l'éloigne par-là même du réfrigérant *. Dès lors, les rayons émanés du réfrigérant, tombant sur la surface intérieure du cône sous un angle moindre, sont réfléchis aussi sous un angle moindre, et

* Dans l'appareil expliqué ci-dessus, la distance de ces deux corps étoit invariable; savoir, comme il a été dit, de 433 millimètres (16 pouces).

ont par-là même plus de chance de rencontrer quelque point du thermoscope.

Quant à la partie de l'expérience où on renverse le cône, il est facile de voir que celui-ci fait office d'écran pour les rayons émanés du réfrigérant, et ne laisse passer précisément que les rayons directs. Il peut bien cependant, même alors, y avoir, en quelques positions, des rayons réfléchis du corps froid, qui atteignent le thermoscope; mais cela est difficile, à cause de la petitesse de la boule.

Enfin, comme le miroir concave renvoie au thermoscope nombre de rayons partis du réfrigérant, et que (conformément à ce qui a été établi ci-dessus) chacun d'eux remplace un rayon plus chaud; on ne sauroit être étonné que cet appareil augmente l'effet frigorifique.

Tout se réduit, comme on voit, à rechercher en quel cas et en quelle situation, l'interposition du réflecteur fait, ou ne fait pas, parvenir au thermoscope plus de rayons émanés du réfrigérant. Ainsi cette partie de la théorie semble parfaitement claire, et réduite à un degré de simplicité, fort propre à faire avancer la science, si on veut bien l'employer.

SECTION VI.

De l'effet différent des différentes surfaces pour transmettre la chaleur a quelque distance et pour hater ou ralentir l'échauffement et le refroidissement des corps que ces surfaces terminent.

§. 116. L'objet de cette section est d'appliquer la théorie à une suite de belles expériences du C. de Rumford, dont les plus importantes ont été rassemblées sous le titre de *Mémoires sur la chaleur*. Comme elles ont été publiées en françois par l'auteur lui-même, à une époque assez récente *; comme elles ont fait la plus grande sensation; comme elles ont été répétées par plusieurs physiciens; exposées enfin successivement dans la Bibl. brit. et dans la 2.de édition du Traité élémentaire de Mr. l'abbé Haüy; je crois pouvoir me dispenser de les rapporter ici en détail. Le thermoscope du C. de Rumford est parfaitement connu **.

* Mémoires sur la chaleur, à Paris, chez Firmin Didot, 1804. in-8.° de 166 pages.

** Voyez la note * sur le §. 112.

Les faits nombreux que cet instrument lui a révélés ont un grand intérêt sous plusieurs rapports. Ils ont agrandi la sphère de nos connoissances et offert des applications utiles de plus d'un genre. Mon sujet m'appelle à les discuter uniquement en vue de la théorie du calorique rayonnant. Pour le faire avec clarté et sans trop de longueur, je tâcherai d'abord de ranger ces faits nouveaux sous un aspect qui me permette de les envisager en masse. Je parlerai ensuite avec un peu plus de détail d'un ou deux de ces faits qui méritent plus d'attention relativement à l'objet que j'ai en vue. Mais il est indispensable auparavant de poser quelques principes.

CHAPITRE PREMIER.

Quelques détails ultérieurs sur la réflexion du calorique considérée théoriquement.

§. 117. L'ANALOGIE et l'expérience nous engagent, comme je l'ai dit (§. 10. et 104.), à appliquer au calorique rayonnant la théorie de la lumière réfléchie. Lorsque le calorique passe d'un milieu dans un autre, il éprouve, à la surface dirimante, une attraction ou une répulsion. S'il tend à passer d'un milieu moins réfringent, tel que l'air, dans un milieu plus réfringent,

réfringent, tel que le verre ou un métal poli; il arrive, selon les circonstances (d'obliquité, etc.), qu'il est réfléchi. Et la même chose a lieu, selon les circonstances, lorsqu'il passe d'un milieu plus réfringent, tel qu'un métal, dans un autre qui l'est moins, tel que l'air. Dans les deux cas, il paroît que la réflexion s'opère à quelque petite distance de la surface dirimante. En particulier cela a lieu pour la lumière en passant du plus réfringent au moins réfringent, selon l'opinion des physiciens les plus estimés *. Par conséquent, l'analogie doit nous faire penser qu'il en est de même à l'égard du calorique. Il faut concevoir que le calorique, gêné dans le corps (par exemple, dans le métal), arrive à la surface et commence à rayonner. Selon les circonstances, le rayonnement s'achève et la particule s'échappe, ou bien elle est réfléchie intérieurement.

§. 118. Il y a probablement de grandes différences entre les corps qui réfléchissent le calorique, comme entre ceux qui réfléchissent la lumière. Les uns sont plus parfaits réflecteurs que les autres. On remarque, quant à la lumière, que les mêmes circonstances qui

* Newton, Princip. I. 96. Schol. — Haüy, Traité élem. 2.de édit. §. 900. — Rob. Smith's Opt. §. 191.

déterminent une plus grande réflexion en dehors, la déterminent aussi en dedans. Par exemple, la portion qui se réfléchit est plus grande sous une incidence donnée, lorsque les densités des deux milieux diffèrent davantage entr'elles, soit que les rayons aillent du dense au rare ou du rare au dense *. Cette réflexion, forte à la fois dans les deux sens, se manifeste également dans un phénomène analogue; car dans l'inflexion de la lumière, le rayon le plus attiré est aussi le plus repoussé à même distance **. Par analogie nous devons présumer qu'il en est de même du calorique. Ainsi, lorsque nous aurons remarqué qu'un corps, placé dans l'air, réfléchit beaucoup au dehors le calorique qui lui vient de l'air; nous devrons soupçonner que, réciproquement, ce corps réfléchira beaucoup intérieurement le calorique qui tendroit à passer du dedans de ce corps à l'air.

§. 119. Cela étant admis, examinons quel effet une surface, plus ou moins réfléchissante, produira sur les phénomènes thermoscopiques.

* Haüy, §. 890.

** Comme je l'ai fait remarquer à propos d'une recherche, dont l'objet étoit entièrement différent de celui qui nous occupe ici. Voyez mon Mémoire *sur la réflexibilité des rayons*, Trans phil. pour 1798. §. 15.

Cet effet peut se décomposer en deux, que j'énoncerai ici d'une manière générale, 1.° *le meilleur réflecteur sera plus propre à maintenir long-tems sa température intérieure.* 2.° *Le meilleur réflecteur aura un moindre effet à la distance, pour soumettre à sa température le corps exposé à son influence.*

§. 120. Je prouve ainsi la 1.ère assertion. Si le corps est plus chaud que le milieu et qu'il soit terminé par une surface fort réfléchissante, cette surface réfléchira intérieurement le calorique, à mesure qu'il tend à s'échapper. Par conséquent, le corps se refroidira plus lentement, que s'il étoit terminé par une surface peu réfléchissante. Si au contraire le corps est plus froid que le milieu; sa surface réfléchira au dehors le calorique qui tend à y entrer; en sorte qu'il se réchauffera lentement.

§. 121. La 2.de assertion résulte du même principe. Si le corps est échauffé; la réflexion, qui repousse le calorique en dedans, s'oppose à son rayonnement. Ainsi, par cette raison, la température de ce corps se fera moins sentir, à une même distance, que celle d'un corps moins réflecteur. Si au contraire le corps est refroidi; la suppression de quelques émissions sera moins sensible au dehors, que si ces émissions avoient été auparavant plus abondantes.

Pour bien saisir ce dernier cas, et même les précédens; il importe de fixer son attention sur les circonstances, variables de l'équilibre mobile, selon que les corps sont ou ne sont pas réflecteurs.

Si un corps (sphérique, par exemple) étoit un parfait réflecteur; il ne feroit aucune émission et ne recevroit aucune immission. Cependant incontestablement l'équilibre mobile s'établiroit entre ce corps et les corps voisins. Mais tout ce qu'il leur enverroit seroit du calorique réfléchi. On peut de cet extrême passer à l'autre, et supposer un corps qui ne réfléchisse point le calorique. Pour un tel corps, l'équilibre mobile a lieu uniquement par voie d'émission et d'immission. La plupart des corps paroissent placés entre ces deux extrêmes. Ce sont des réflecteurs imparfaits. D'où il suit qu'à l'équilibre mobile, ces corps font des envois mêlés d'émission et de reflexion.

Ceci étant entendu; considérons quel effet auroit le réflecteur parfait pour échauffer ou refroidir à la distance, ou par voie de rayonnement. Il n'en auroit sans doute aucune. Car ses envois consistant tout entiers en rayons réfléchis, s'il se réchauffe ou se refroidit intérieurement, l'envoi qu'il fait n'en est ni augmenté dans un cas, ni diminué dans l'autre.

Voyons ensuite l'effet qu'a, dans les mêmes circonstances, le corps qui ne réfléchit point. Comme ses envois sont tous des émissions, et comme l'émission est proportionnée à la chaleur intérieure (§§. 18 et 31.), il est clair qu'à l'instant où il s'échauffe ou se refroidit intérieurement, l'équilibre est rompu ; et par conséquent, les corps placés à quelque distance de lui doivent s'en ressentir. Le corps non-réflecteur est-il échauffé ? Il y a excès de rayonnement. Est-il refroidi ? Il y a déficit. Maintenant il n'est pas difficile de voir, que plus un corps sera réflecteur, et moins ses changemens de température affecteront les corps placés à quelque distance de lui.

Tels sont les principes qui découlent des lois de la réflexion du calorique, fondées en partie sur l'expérience, en partie sur l'analogie entre le calorique et la lumière, relativement aux qualités catoptriques de ces deux agens. Suivons les applications de ces principes.

CHAPITRE II.

Expériences sur le tems qu'emploient, pour changer de température, des corps terminés par des surfaces de diverse nature.

§. 122. On se rappelle que les principaux appareils dont le C. Rumford a fait usage pour ce genre d'expériences, sont des vases cylindriques, remplis tantôt d'eau bouillante et tantôt de glace. Ces vases étoient terminés, tantôt par une surface métallique polie, tantôt par une surface vernie ou noircie, tantôt par une enveloppe de toile, etc. Dans la 1.re expérience de cette suite, l'auteur compare le tems du refroidissement de deux vases pareils remplis d'eau bouillante. « L'instrument n.° 1. » *dont les parois étoient nues* employa 55 » minutes à descendre de 94° à 84°; l'instru- » ment n.° 2. *revêtu de toile*, perdit la même » quantité de sa chaleur en $36\frac{1}{2}$ minutes *. »

§. 123. Ce célèbre observateur noircit la surface de l'instrument n.° 2, en la promenant au-dessus d'une bougie allumée. Il obtint alors les résultats suivans **.

* Mém. sur la chaleur, p. 17.

** Ibid. p. 22.

Tems du refroidissement de 10 degrés.

Instrument N.° 1. *A nu*. . . . . 55 $\frac{7}{8}$ minutes.
Instrument N.° 2. *Noirci* sur la flamme d'une bougie. . . . . 36 $\frac{1}{8}$

§. 124. Il enduisit successivement la surface d'un de ses cylindres d'une, de deux, de quatre, de huit couches de vernis à l'esprit de vin. Voici les résultats de ces expériences * :

L'instrument s'est refroidi de dix degrés	L'instrument N.° 1. *à nu.*		N.° 2. *verni.*
Avec une couche de vernis, en	55 $\frac{1}{2}$	en	42
Avec deux couches.	55 $\frac{1}{4}$		35 $\frac{3}{4}$
Avec quatre couches	55 $\frac{1}{2}$		30 $\frac{1}{4}$
Avec huit couches.	55		34 $\frac{1}{4}$

§. 125. Toutes ces expériences sont relatives à la durée du refroidissement. En voici qui se rapportent à la durée de l'échauffement **.

« Ayant fait faire deux vases cylindriques » (de quatre pouces de diamètre et de quatre » pouces de haut) de minces feuilles de cuivre » jaune, bien polies en dehors, je noircis » l'un sur la flamme d'une bougie, et rem- » plissant les deux vases d'eau bouillante, je » les exposai en même tems, en hiver, dans

* Ibid. p. 20.
** Ibid. p. 148.

» l'air tranquille d'une grande chambre, pour » se refroidir.

» Le vase qui étoit noirci se refroidissoit » presque deux fois plus vite, que celui qui » avoit sa surface métallique nette et propre.

» Les deux vases, ayant enfin acquis la » même température, c'est-à-dire, celle de » l'air froid dans lequel ils étoient exposés, » furent transportés dans une chambre échauf- » fée par un poële; et je trouvai que le vase » noirci fut échauffé, à peu près deux fois » plus rapidement que l'autre.

» Le vase noirci, ayant été nettoyé, fut » couvert avec une simple enveloppe de toile » fine, bien juste au corps du vase. En répé- » tant les expériences avec les deux vases, » celui qui étoit exposé nu, à l'air froid, em- » ployoit 45 minutes à parcourir un certain » intervalle de refroidissement, de 10 degrés » de l'échelle de Fahrenheit; c'est-à-dire, » du cinquantième au quarantième degré au- » dessus de l'air de la chambre; pendant que » l'autre vase, qui étoit couvert *avec un habit* » de toile fine, n'employoit que 29 minutes » à parcourir ce même intervalle.

» Les deux vases, ayant acquis la même » température, furent transportés dans une » chambre chaude; et il se trouva que le vase

» couvert de toile fut échauffé plus rapidement » que l'autre, qui avoit sa surface nue *. »

§. 126. Cet excellent observateur remarque en général, et comme un résultat de ses observations, que l'opération de l'échauffement et celle du refroidissement d'un corps (par le milieu qui l'entoure) sont plus lentes et plus difficiles à proportion que la surface du corps est plus propre à réfléchir les rayons qui la frappent **.

---

* Le détail de cette expérience se trouve consigné à la page 9 de ces mêmes Mémoires sur la chaleur.

** Ibid. p. 150.

CHAPITRE III.

Application de la théorie à ces expériences.

§. 127. Elle se trouve faite ou du moins préparée par l'auteur lui-même, en vertu de sa dernière remarque, qui généralise très-utilement les observations de détail. Elle nous apprend qu'au fond ces observations se réduisent à établir le même principe auquel la théorie nous a conduits (§§. 119, 120.); savoir, que les réflecteurs doivent s'échauffer ou se refroidir plus difficilement que les non-réflecteurs, par l'influence du milieu ambiant.

§. 128. L'expérience des couches de vernis présente une anomalie. Deux couches accélèrent le changement de température plus qu'une seule couche; quatre couches, plus que deux; et huit couches l'accélèrent moins que quatre. Il me semble que l'on peut donner de ce fait une explication probable. Quatre couches de vernis n'ont d'autre effet que de rendre le corps métallique moins réflecteur; c'est-à-dire, que le métal verni n'est plus pour le calorique un miroir aussi parfait que le métal nu. Huit couches en font un corps nouveau, demi-transparent, plus réflecteur

que quatre couches, moins réflecteur que le métal poli. En d'autres termes : Quatre couches suffisent pour empêcher le calorique d'obéir à l'influence réfléchissante du métal, et ne suffisent pas pour lui faire ressentir pleinement l'influence réfléchissante du vernis.

§. 129. Du reste, ce détail et quelques autres, tels que l'influence des fourrures et d'autres substances animales, offrent trop de complication, pour que j'ose me flatter d'en faire, seul et par mes propres forces, une analyse suffisante. Cet aveu, que je fais volontiers et que je voudrois souvent répéter, ne me semble pas plus nuire aux explications claires et satisfaisantes des phénomènes moins compliqués, que ne pourroit faire la foiblesse d'un commençant à la doctrine de l'attraction, s'il tentoit de l'étudier sans maître. La complication des phénomènes de la chaleur naît le plus souvent de l'action simultanée de ses deux modes de propagation (le rayonnement et la conductibilité).

CHAPITRE IV.

Expériences sur l'influence des surfaces de diverse nature, dans les changemens de température, qu'opèrent à une certaine distance, des corps terminés par ces surfaces.

C'est ici que le C. de Rumford emploie utilement son ingénieux thermoscope *.

§. 130. Par un grand nombre d'expériences, faites avec le plus grand soin, cet observateur a démontré que ses vases cylindriques échauffés ou refroidis, affectent plus fortement un thermoscope éloigné d'eux, lorsqu'ils sont terminés par des surfaces moins réfléchissantes **.

On se souvient que ce thermoscope est composé de deux boules remplies d'air, séparées par une bulle de liquide coloré, servant d'index. La construction en est telle, que cet index tend à s'éloigner de la boule la plus chaude.

§. 131. Deux vases cylindriques pareils, de

* Voyez la note * sur le §. 112.

** Mém. sur la chal. p. 43 et suiv.

métal poli, sont remplis d'eau bouillante, et placés à égale distance, l'un d'une des boules, l'autre de l'autre. — L'instrument reste stationnaire.

§. 132. On noircit la surface de l'un des vases. — Aussitôt l'index s'en éloigne.

§. 133. On remplit un des vases cylindriques de glace pilée et d'eau; on le présente à l'une des boules du thermoscope, à la distance de quatre pouces. — A l'instant, l'index commence à se mouvoir lentement et uniformément du côté du froid; et après avoir parcouru environ un pouce, il demeure stationnaire.

§. 134. « Je noircis, » dit l'auteur, « le » fond d'un de mes deux vases cylindriques » à col oblique, et je remplis ce vase d'un » mélange de sel commun et de glace. Je » remplis du même mélange l'autre vase sem- » blable, sans le noircir; et je les présentai » simultanément, et à la même distance, aux » deux boules du thermoscope.

» A l'instant, l'index se mit en mouvement, » et s'avança lentement vers la boule corres- » pondante au vase noirci. »

CHAPITRE V.

Application de la théorie à ces expériences.

§. 135. Nous avons vu que les corps non-réflecteurs devoient faire sentir à distance l'influence de leur température plus fortement que les réflecteurs (§§. 119. 121.). Si l'on parcourt toutes les expériences précédentes, on verra qu'elles confirment bien ce principe.

§. 136. La surface noircie affecte le thermoscope, par son échauffement ou son refroidissement, plus que ne fait la surface de métal poli. C'est un cas particulier de la règle que nous venons d'énoncer. On sait en effet que le métal poli est un réflecteur beaucoup moins imparfait que le noir mat.

§. 137. Il est inutile d'entrer dans plus de détail. Et je ne crois pas devoir suivre, dans ces explications, toutes les expériences faites avec des substances animales, etc. par les raisons que j'ai déjà énoncées (§. 129.).

CHAPITRE VI.

Expérience de même genre, que son auteur a jugée inexplicable dans les principes de l'équilibre mobile *.

§. 138. UNE des boules du thermoscope fut placée exactement entre deux vases pareils, l'un plus chaud, l'autre plus froid, de 40° F., que le milieu ambiant. — L'index demeura stationnaire.

La même chose eut lieu, lorsque les surfaces des deux vases furent noircies à la flamme d'une bougie.

CHAPITRE VII.

Application de la théorie à cette expérience.

§. 139. LA surface des vases doit être conçue comme un réflecteur imparfait. On peut, par un emblême, l'envisager comme une grille, dont les barreaux réfléchissent et dont les

* Mémoires sur la chaleur, par le C. de Rumford, Paris, 1804, p. 119. Voyez aussi la p. 69.

vides laissent passer le calorique. Plaçons maintenant la boule du thermoscope exactement entre les deux vases. Et d'abord, que la température des vases et celle du milieu soient les mêmes. Il y a équilibre, et la boule reçoit de chacun des deux vases le même rayonnement. Ce rayonnement est composé en partie de rayons réfléchis et en partie de rayons émis. Si la surface est de métal poli, il y a plus de rayons réfléchis, moins si cette surface est noircie. Mais la somme reste égale. Car pour maintenir l'équilibre, il faut que les deux vases envoient toujours à la boule une même quantité de calorique.

§. 140. Supposons maintenant que les vases et le thermoscope restant toujours dans la même situation, et les surfaces des deux vases étant toutes deux pareilles et de même nature, on enlève à l'un des vases une portion de calorique, pour la verser dans l'autre vase; il est clair qu'on ne changera rien au rayonnement total, je veux dire à la somme des rayonnemens de l'un et l'autre vase. En effet le calorique ne gêne point le calorique (§. 10.), ainsi l'accumulation n'augmente ni ne diminue l'émission de la portion transvasée. Cette émission ne peut point non plus se faire avec plus ou moins de facilité au travers d'une surface, qu'au

qu'au travers de l'autre ; puisque ces surfaces sont précisément pareilles. Il importe peu maintenant à l'équilibre, que les deux surfaces soient de métal poli, ou que toutes deux soient noircies. Le raisonnement que nous venons de faire s'applique à l'un comme à l'autre cas.

§. 141. Mais il sera bien peut-être d'y attacher des nombres. Supposons que les deux surfaces envoient chacune au thermoscope 100 élémens de calorique par seconde, lorsque les vases sont à la température du milieu, savoir le nombre e par émission et $100 - e$ par réflexion ; de sorte que, pour l'équilibre, il faille que le thermoscope reçoive des vases 200 élémens. Enlevons à un vase 40° de calorique pour les donner à l'autre vase. Soit e' l'émission qui étoit produite en vertu de ces 40° avant qu'on les eût enlevés. Cette même émission e' sera encore produite par ces mêmes 40° dans le vase où on les a transportés. Ainsi l'émission du vase, qui a été refroidi de 40°, sera $e - e'$, et son rayonnement total sera $100 - e'$. L'émission du vase qui a été réchauffé de 40°, sera $e + e'$, et son rayonnement total, $100 + e'$. Donc la somme des deux rayonnemens sera bien 200, comme ci-devant.

Maintenant qu'on fasse e grand ou petit, que les surfaces, toujours homogènes entr'elles,

soient polies ou noircies ; le résultat est évidemment le même : ce résultat par la théorie est l'équilibre, comme l'a donné l'observation.

Je n'ai pas cru devoir m'en tenir pour cette expérience à une explication sommaire, parce qu'elle a paru se présenter comme objection, tandis qu'elle est réellement une des plus belles et des plus claires confirmations de la théorie.

CHAPITRE VIII.

Remarque sur l'état du calorique dans les corps réflecteurs et non-réflecteurs.

§. 142. Nous avons vu que les réflecteurs résistent en quelque sorte au changement de température. Mais comme les meilleurs réflecteurs sont imparfaits, il arrive que leur répugnance à changer de température est enfin vaincue. Et si l'on suppose deux corps de même capacité naturelle pour le calorique, mais différens par la nature de leurs surfaces, l'un étant réflecteur plus que l'autre; ces deux corps, plongés dans le même milieu, en prendront finalement la température. Ils se rempliront ou se videront de calorique jusqu'à ce qu'ils en contiennent tous deux la même quantité. La différence en vertu réfléchissante n'introduit aucune différence permanente de capacité pour le calorique. Il suit de là que, dans un lieu de température uniforme, si tout-à-coup on vient à changer la nature de la surface d'un corps, on ne change rien à son rayonnement. Car puisque ce corps étoit à l'équilibre avec les corps environnans, il envoyoit autant

qu'il recevoit. Supposons que tout ce qu'il envoyoit fût émis ; et que tout-à coup de non-réflecteur il soit converti en réflecteur parfait ; maintenant, il n'enverra plus ce qu'il envoyoit par voie d'émission, mais il renverra par réflexion tout ce qui lui arrive. Or ces deux quantités sont égales. Donc le rayonnement ne change point. Il est aisé d'appliquer ce raisonnement aux changemens intermédiaires.

SECTION VII.

Application de la théorie du calorique rayonnant aux expériences de Mr. Leslie, sur la nature et la propagation de la chaleur.

Comme l'ouvrage de Mr. Leslie, sur la nature et la propagation de la chaleur, n'a pas été traduit en françois, quoiqu'il soit bien connu par d'excellens extraits *, je saisirai cette occasion d'exposer celles des expériences de ce physicien, qui se rapportent à mon sujet. Je commencerai par traduire en entier le chapitre dans lequel l'auteur décrit ses appareils **.

* Bibl. brit. pour 1805. — Traité élém. de phys. de Mr. Haüy, 2.de edit. T. I.

** Les mesures angloises qui y sont employées, sont assez connues pour que j'aie cru devoir me dispenser d'en faire la réduction. Il n'est au reste question, dans les descriptions et dans les expériences suivantes, que de pieds et de pouces, qu'on sait être aux pieds et pouces de Paris, dans le rapport de 15 à 16.

CHAPITRE PREMIER.

Description des appareils employés pour ces expériences *.

§. 143. « AVANT de rapporter les expériences qui servent de base aux raisonnemens contenus dans ce traité, il sera à propos de donner une idée de la forme et de la construction des instrumens dont j'ai fait usage. Cette description rendra plus facilement intelligibles les détails subséquens, et fera juger du degré d'exactitude des expériences et de la confiance qui leur est due. Cela m'évitera d'ailleurs bien des répétitions et épargnera par conséquent la patience du lecteur, que ces fastidieuses répétitions auroient mise à une rude épreuve. Rien sans doute n'est plus indispensablement requis, dans toutes les recherches physiques, qu'une soigneuse indication des circonstances qui accompagnent cha-

* Traduit de l'*Experimental Inquiry etc.* (c'est-à-dire, Recherches expérimentales sur la nature et la propagation de la chaleur, par J. Leslie. Londres, 1804, Chap. I.). Cette description, comme tout ce qui est traduit du même ouvrage, est distinguée du reste par le caractère. C'est maintenant Mr. Leslie qui va parler.

que expérience, et une sévère exclusion de tout ce qui y est étranger et qui pourroit en troubler le résultat. Mais enfin on est toujours obligé d'accorder beaucoup à la fidélité et à l'habileté de celui qui expérimente. Prétendre, par un récit prolixe, donner une idée pleine de toutes les combinaisons d'objets qui frappent à la fois les sens, seroit s'imposer une tâche non moins pénible qu'inutile.

Les principales pièces de mes appareils sont des miroirs de fer étamé ou fer-blanc. J'en avois plusieurs, de différentes dimensions, de 12 à 14 pouces de diamètre; la flèche de leur concavité étoit de $1\frac{5}{4}$ pouce à $2\frac{1}{2}$. J'eus assez de peine à les obtenir tels que je les désirois, et ce ne fut qu'après beaucoup de tentatives, que je parvins à trouver un artiste, assez adroit pour les exécuter avec une certaine précision, et disposé en même tems à suivre exactement mes directions à cet égard. Mais à force de persévérance, j'eus enfin le bonheur de réussir. J'obtins des miroirs formés au marteau, dont le brillant, le poli, et la régularité de forme étoient admirables. Je n'ignorois pas qu'en employant de grands segmens de sphères concaves, je m'exposois à une aberration considérable dans le foyer; je cherchai donc à donner à mes miroirs une forme

parabolique. Je taillai des bandes minces de bois d'acajou en segmens de parabole bien réguliers, et de diverses dimensions, pour servir de modèles à l'ouvrier *; puis avec quelque dextérité, et en changeant souvent ses marteaux, il forgea les miroirs exactement à la forme de ces modèles. Comme je désirois me procurer les miroirs les plus forts de cette espèce, j'eus peine à trouver des feuilles de fer-blanc assez grandes pour pouvoir être formées au marteau à la courbure convenable, sans éclats ni gerçures. Ces miroirs, exposés à la lumière directe du soleil, réunissoient ses rayons à un foyer assez distinct, d'environ $\frac{1}{3}$ pouce de diamètre; en sorte que toutes les erreurs de figure se réduisoient à produire une aberration d'un quart de pouce de chaque côté du foyer mathématique. Et quoique l'image du soleil fût ainsi environ cent fois plus étendue que si la figure eût été vraiment parabolique, cependant l'effet de la concentration des rayons solaires étoit très-remarquable; un morceau de bois ou d'étoffe mis au foyer, étoit entièrement brûlé ou enflammé en peu de secondes.

* L'auteur explique plus en détail son procédé dans une note finale, qui ne me paroît pas indispensable et que je supprime.

P. P. p.

Des miroirs d'un métal plus dur et plus brillant, coulé, puis douci et poli avec soin, auroient sans contredit répondu mieux au but; mais pour en avoir de tels d'une grandeur médiocre, il m'auroit fallu faire de très-grands frais. Et d'ailleurs on verra bientôt que, pour les expériences auxquelles sont destinés mes miroirs de fer-blanc, une exécution parfaite est moins essentiellement requise que dans les instrumens d'optique. Le succès de ces expériences dépend plus du parfait poli de la surface du miroir que d'aucune autre circonstance. Comme cette surface est sujette à se ternir, il est bon de lui rendre de tems en tems son lustre. Et cela n'est pas difficile, puisqu'il ne s'agit que de la frotter avec un morceau d'étoffe de coton et un peu de chaux ou de blanc.

La figure parabolique est proprement adaptée aux rayons parallèles, ou à ceux qui viennent d'un objet fort éloigné; cependant elle satisfait aux autres cas avec une exactitude suffisante. Dès qu'une fois le foyer des rayons parallèles est connu, on détermine par un calcul fort simple celui qui correspond à une distance quelconque *. On peut aussi le trouver

* L'auteur rappelle ce calcul dans une note. *P. P. p.*

de la sorte. Mettez la flamme d'une bougie à la place du point lumineux. Ensuite, après avoir empêché l'accès de toute autre clarté, recevez la lumière réfléchie sur un papier blanc, que vous ferez mouvoir jusqu'au point où l'image est la plus resserrée et la plus brillante. J'avois donné à l'un de mes miroirs la forme elliptique; la distance des deux foyers étoit de quatre pieds; et le plus voisin du miroir n'étoit qu'à cinq pouces de l'origine de l'axe. Comme ce miroir étoit le mieux adapté aux distances qui m'étoient le plus commodes, et comme il étoit en même tems le plus fort de ceux que je possédois, je l'ai employé beaucoup plus souvent qu'aucun autre.

Toutes les fois que j'employois un miroir, je le plaçois sur la table, au moyen d'un petit support en bois, composé de deux montans fort étroits, liés par une traverse horizontale assez épaisse. Ces montans s'élevoient au-dessus de la traverse, de manière à dépasser le centre du miroir, mais leur distance étoit un peu moindre que son diamètre. Intérieurement, les montans dans leur partie supérieure, et la traverse vers son milieu, étoient creusés en coulisse. Le miroir s'y adaptoit par ses bords et on l'y laissoit glisser de haut en bas pour le mettre en

expérience, ou bien on l'en retiroit à volonté *.

Pour déterminer avec quelque précision l'action des corps échauffés, il est indispensable d'opérer sur de grandes masses. Car si les masses sont petites, elles se refroidissent si vite que le tems manque pour la production pleine et régulière des effets que l'on veut observer. L'eau chaude paroît posséder toutes les qualités requises pour ce genre d'expériences; il est facile d'en avoir à sa disposition autant qu'on en veut, elle a une grande capacité de calorique, et l'on peut en constater la température à différens degrés avec beaucoup d'exactitude. Les vases que j'ai préférés, pour contenir l'eau, sont des cubes creux, d'étain, construits avec soin, et planés, comme disent les ouvriers, c'est-à-dire, travaillés au marteau de manière à en rendre la surface douce et brillante. Au milieu de la face supérieure de chacun de ces vases d'étain, est un orifice, dont le diamètre varie entre demi-pouce et un pouce, et s'élève à peu près à la même hauteur. On adaptoit à cet orifice un couvercle, que traversoit un thermomètre, dont la boule répondoit au milieu de

* Rien ne ressemble mieux à ce support, que le support d'un écran de salon à coulisse ; le miroir ou réflecteur remplaçant l'écran, et le tout se plaçant sur une table. *P. P. p.*

la masse du liquide. Ces cubes étoient de différentes grandeurs; de trois, quatre, six et dix pouces de côté. Deux d'entr'eux, celui de quatre et celui de dix pouces, portoient un convercle, qui n'étoit pas soudé et qui pouvoit s'adapter ou s'enlever à volonté; et comme on n'avoit pas cru devoir y pratiquer d'ouverture, on y faisoit passer le tube du thermomètre à travers un petit tuyau.

Ce n'étoit pas sans raison que j'avois donné la préférence à la forme cubique. En effet, lorsqu'on tournoit une des faces du vase vers le miroir, toutes les parties de ce plan présentoient évidemment la même inclinaison; il étoit aisé de s'assurer de l'influence qu'avoient sur les résultats différens degrés d'obliquité; et comme cette figure mettoit à ma disposition, pour chaque expérience, quatre faces parfaitement égales et semblables, mais dont on pouvoit changer à volonté et sous divers rapports l'état et la nature, il devenoit facile de multiplier les recherches sans nouveaux appareils. Une des quatre faces verticales du vase étoit maintenue propre et brillante; la face opposée étoit recouverte d'un papier soigneusement appliqué, ou d'une couche de noir de fumée rendu adhèrent avec la moindre quantité possible de colle. Les autres faces, destinées à

un service varié, étoient garnies selon le be
feuilles d'étain, de papiers diversement colo
de diverses sortes d'enduits; quelquefois auss
changeoit la nature par d'autres procédés
niques ou chimiques.

Les vases cubiques se plaçoient sur un p
bouret à quatre pieds, construit de manièr
le centre du cube mis en expérience fût à la
hauteur au-dessus de la table, que le cen
miroir qui lui étoit opposé. Le tabouret étc
étroit d'un demi-pouce que le vase, et ses
étoient arrondis ou cannelés. La forme car
ce support permettoit de tourner à la fois to
pareil pour mettre successivement les quatr
du cube dans une même position par rapp
miroir.

J'avois aussi à ma disposition pour varier
périences, et pour en faire quelques-unes dont
étoit particulier, deux vaisseaux cylindriques
blanc, l'un de trois pouces de diamètre sur
pouces de hauteur, et l'autre de six sur hu
dernier avoit un convercle que l'on pouvoit
à volonté. En avançant dans mes recherc
multipliai et je modifiai ces appareils, selon le
J'aurai soin d'indiquer ces changemens, en é

les expériences pour lesquelles ils m'ont paru nécessaires.

Mais de tous mes instrumens, celui qui doit être envisagé comme le plus essentiel pour les recherches que j'ai entreprises, celui dont l'exactitude et la délicatesse ont assuré le succès de ces recherches, est *le thermomètre différentiel.* On ne peut rien concevoir de plus simple et de plus commode pour l'usage auquel il est destiné. La construction de cet instrument est en général la même que celle de l'hygromètre, dont j'ai précédemment publié la description *. On prend deux tubes de verre de longueurs inégales, terminés l'un et l'autre par une boule creuse, et d'un calibre qui va en s'élargissant un peu à l'extrémité opposée. On introduit, dans la boule du plus long tube, une petite quantité d'acide sulphurique coloré avec du carmin. On

* Cette description parut en Janvier 1800, dans le journal de Nicholson (Voyez Bibl. brit. T. XIV. p. 3.). C'est au fond le même instrument que le photomètre du même auteur (Voyez Bibl. brit. T. XXVIII. p. 109.). Le photomètre de Mr. Leslie est décrit dans le livre que j'analyse, et ne diffère essentiellement du thermomètre différentiel, qu'en ce qu'une de ses boules est noircie, tandis que l'autre est transparente. Il paroît donc que ces trois instrumens ne sont que le même instrument modifié et appliqué à des observations de genre différent. *P. P. p.*

joint ensuite les tubes à la flamme du chalumeau; et on les courbe de manière à leur faire prendre la forme de la lettre U. On a soin que l'endroit où l'un des tubes est infléchi se trouve précisément au-dessous de la jonction des deux tubes, parce que la petite cavité qui s'y forme favorise l'opération par laquelle on doit ajuster l'instrument. Cette opération, moyennant un peu de dextérité, s'exécute en forçant quelques bulles d'air, par la seule chaleur de la main, à passer d'une boule dans l'autre. Les boules sont soufflées aussi égales qu'on peut les faire en en jugeant à l'œil, et on leur donne entre quatre et sept dixièmes de pouce en diamètre. Les tubes sont pareils à ceux qu'on tire pour les thermomètres à mercure, mais d'un plus grand calibre. Celui du plus court, auquel s'attache l'échelle, doit être exactement d'un quinzième ou d'un seizième de pouce. Il n'est pas nécessaire que le calibre du plus long tube soit aussi régulier; mais il doit être sensiblement plus grand, afin que la liqueur colorée se meuve plus vite au moindre changement de température. Chacune des branches de l'instrument a de trois à six pouces de haut, et les boules sont éloignées l'une de l'autre de deux à quatre pouces. La partie inférieure du siphon est collée vers le

milieu à une tige déliée, portée par une base ronde ou carrée, et de la hauteur convenable pour que les boules du thermomètre soient de niveau avec le centre du miroir. Un instant d'attention suffit pour faire voir que cet instrument ne peut être affecté que par *la différence* de chaleur des deux boules correspondantes, et qu'il est construit de manière à mesurer cette différence avec la plus grande précision. Tant que les deux boules sont de même température, à quelque degré que cette température s'élève, l'air contenu dans l'une ne peut manquer d'avoir la même élasticité que l'air contenu dans l'autre; et par conséquent, la liqueur colorée, qui les sépare, pressée par deux forces égales et opposées, doit nécessairement rester stationnaire. Mais si, par exemple, la boule dans laquelle on a fait passer une partie de la liqueur colorée vient à être échauffée plus que l'autre; l'élasticité supérieure de l'air qui y est contenu chassera devant lui cette liqueur, et la forcera de s'élever dans la branche opposée au-dessus de zéro, jusqu'à une élévation proportionnée à l'excès d'élasticité ou de chaleur. Il est aisé, en suivant le procédé employé pour l'hygromètre, de déterminer la grandeur des degrés de toute autre instrument. Et si cela convenoit, on pourroit proposer d'autres méthodes

méthodes applicables au cas présent *. L'intervalle entre le point de congélation et celui de l'eau bouillante, étant divisé en cent parties égales, forme les degrés *centigrades*. Chaque degré, étant ensuite subdivisé en dix parties, produit les degrés que j'emploie, et qui, conformément à ce système de nomenclature, peuvent être appelés *milligrades*. Par ce procédé, et en faisant usage des mesures que j'ai données ci-dessus, un thermomètre différentiel aura de 100 à 150 degrés. Du reste il est rare qu'on ait besoin de cette graduation; dans la plupart des cas, il est moins important de connoître les quantités absolues de chaleur, que leurs proportions relatives. Il est peu nécessaire d'ajouter que j'avois à ma disposition une grande variété de thermomètres différentiels, de formes et de grandeurs différentes,

* Je me contenterai d'en mentionner une des plus simples et des plus exactes. Couvrez de neige la boule qui termine le tube nu, en la pressant tout autour de manière à en former une croûte compacte; puis mettez l'instrument dans une chambre fermée. Tandis que la neige fondra d'une manière lente et graduée, la boule sera constamment maintenue à zéro ou au point de congélation. Par conséquent l'ascension de la liqueur colorée correspondra exactement à la température de l'autre boule, qui est la même que celle de la chambre, et que l'on peut déterminer exactement au moyen d'un excellent thermomètre. *Note de Mr. Leslie.*

adaptés au besoin et aux occasions particulières où je voulois les employer. »

CHAPITRE II.

Manière d'expérimenter ; éclaircissemens et résultats généraux, nécessaires pour l'intelligence des expériences suivantes *.

§. 144. « DANS une chambre fermée et sans feu, placez le miroir de fer-blanc près de l'extrémité de la table **; et à quelques pieds de distance, placez sur la même table le vase cubique, posé sur son tabouret, de manière qu'il présente de front au miroir sa face noircie ou celle qui est garnie en papier. Ensuite, après avoir cherché, par la flamme d'une bougie ou autrement, le lieu précis du foyer correspondant à cette position, mettez-y la boule du thermomètre différentiel qui contient la liqueur colorée. (Et désormais, pour éviter les circonlocutions, j'appellerai cette boule, la boule *focale*.) Rangez en-

* Traduit du commencement du Chap. 2.e de l'*Experimental Inquiry* etc.

** L'auteur renvoie ici à une figure, qu'il me semble que le lecteur peut aisément suppléer. *P. P. p.*

suite cet instrument, de manière que son plan soit parallèle au plan du miroir. Les choses étant en cet état, remplissez le vase d'eau bouillante, et recouvrez-le de son convercle portant un thermomètre intérieur. A l'instant on verra la liqueur colorée s'élever dans le thermomètre différentiel; et dans l'espace de deux ou trois minutes, elle atteindra le haut de l'échelle. Elle y restera quelques instans stationnaire, puis on la verra redescendre à mesure que le vase se refroidira. Le plus souvent je faisois usage du vase cubique de six pouces, et je le plaçois à trois pieds du fond du miroir. Dans ces circonstances, l'effet produit sur la boule focale, au plus haut point d'élévation, alloit à environ 80 degrés *. Mais après plusieurs essais, je trouvai l'effet, dans tous les cas possibles **, exactement proportionnel à la chaleur de l'eau, c'est-à-dire, à la différence entre sa température et la température de la chambre. Cette observation, en simplifiant tout, a singulièrement facilité la marche expérimentale. En général, le thermomètre indiquoit

* Égaux à 14$\frac{1}{2}$ de l'échelle de Farenheit. (L)

** Il faut entendre les cas où l'on tourne vers le miroir concave précisément la même face du vase cubique. Car on verra bientôt qu'avec des faces différentes les rapports changent. *P. P. P.*

95 degrés centigrades, lorsque je commençois à noter l'effet produit sur la boule focale. Je continuois ensuite de tenir registre des quantités, à des intervalles de tems convenables, jusqu'à ce que le vase fût refroidi à 50 ou 60 degrés; en sorte qu'il s'écouloit environ deux heures avant qu'il devînt nécessaire de le vider pour le remplir de nouveau. En prenant ce registre pour base, je calculois, par la règle de trois, les quantités qui auroient répondu à 100 degrés de différence dans la température, c'est-à-dire, à tout l'intervalle entre la congélation et l'eau bouillante; et je m'en tenois à conserver en note ces derniers nombres seulement. Il seroit assurément hors de place de fatiguer l'attention du lecteur d'une multitude de chiffres et de simples calculs arithmétiques. Les faits que je vais rapporter ne sont point établis sur la foi d'une seule expérience. Ce sont des résultats moyens déduits d'observations très-nombreuses et faites avec le plus grand soin. En général, la coïncidence des observations a été très-frappante. Et si, en certains cas délicats, il y a eu des discordances, je n'ai été satisfait que, lorsqu'à force de répéter les expériences, j'ai réussi à dissiper le doute.

Il faut remarquer que les expériences dont il

s'agit ne réussissent pas moins avec le froid qu'avec la chaleur. Si l'on remplit le vase cubique de glace, ou d'un mélange frigorifique de neige et de sel, la boule focale est refroidie et en conséquence on voit baisser la liqueur colorée. La mesure de cet effet, quoiqu'en sens contraire, se trouve aussi rigoureusement proportionnelle à la différence de température. Ainsi, la température de la chambre étant de 16 degrés, et celle du vase de 76, la liqueur du thermomètre différentiel montera de 45 divisions. Qu'ensuite on remplisse le vase cubique de glace, qui maintienne sa température à zéro, la liqueur descendra de 12 divisions. Or 12 est à 16 dans le même rapport que 45 à 60; ce dernier nombre exprimant la différence entre la température du vase, 76, et celle de la chambre, 16.

On pourroit rendre ces effets sensibles à de plus grandes distances, en employant deux miroirs, en face l'un de l'autre et ayant leurs foyers conjugués. On placeroit le corps froid à l'un des foyers, et la boule sensible du thermomètre différentiel à l'autre foyer. Mais cette forme d'expérience, qui n'est pas sans beauté, est tout-à fait impropre à une recherche délicate; puisque, pour obtenir l'avantage particulier que peut offrir cet appareil, il faut que le corps

suspendu au premier foyer soit très-petit, et qu'en conséquence il ne peut avoir qu'une action foible et passagère, incompatible avec une observation exacte. »

§. 145. *Ici l'auteur annonce que l'objet des expériences suivantes est d'examiner les circonstances qui altèrent l'influence du corps chaud ou froid sur le thermomètre différentiel.

Il avertit enfin que, pour rendre ses résultats plus faciles à saisir, il emploira le nombre 100 pour exprimer l'effet extrême, c'est-à-dire, celui de la face noircie, avec toute la différence de température entre l'eau bouillante et la congélation; exprimant les autres quantités proportionnellement.

---

* J'espère que le lecteur voit aisément qu'ici je cesse de traduire Mr. Leslie. Dans ce qui va suivre, les *Expériences* sont toutes de ce physicien. Les *Explications* que j'y joins en sont toujours distinguées par le caractère d'impression, comme ce §. 145 l'est de celui qui le précède.

CHAPITRE III.

Expériences sur la quantité de chaleur rayonnante émise ou reçue par différentes surfaces.

Expérience I.

§. 146. « PEIGNEZ une des faces du vase cubique avec du noir de fumée, revêtez une autre face de papier à écrire, et couvrez une troisième d'une feuille de verre (dit crown-glass) de mêmes dimensions, en l'attachant avec de la poix ou un fort ciment. Après avoir fait ces préparatifs, et mis vos appareils en place, tournez de front vers le miroir la face noire du vase, et remplissez celui-ci d'eau bouillante. La liqueur du thermomètre différentiel s'élèvera à 100 degrés. Mettez dans la même position la face garnie de papier; et l'effet sera le même, mais un peu moindre, savoir de 98 degrés. La face vitrée indiquera une diminution sensible; son action ne sera que de 90 degrés.

Ainsi la peinture en noir, le papier et le verre, sont des substances de même classe; dont les effets, quoiqu'un peu différens, sont tous très-considérables.

Expérience II.

Les choses étant toujours dans la même situation, dirigez la face brillante du vase cubique vers le miroir. Aussitôt on verra que l'effet produit sur la boule focale subit un changement remarquable. La liqueur coloréé descend promptement à 12 degrés. Du reste les autres faces du vase, lorsqu'on les recouvre d'une feuille d'étain et qu'on les met dans la position convenable, manifestent précisément la même action. Pour produire cet effet, la seule chose requise est d'employer une surface métallique très-propre.

Ainsi l'étain, quant à l'affection de la chaleur, est tout-à-fait différent du noir de fumée, du papier et même du verre, puisque comparé à ces substances il n'a qu'environ la $\frac{1}{8}$ème partie de leur énergie *. Dans les deux cas, la chaleur de la surface présentée au miroir doit manifestement avoir

* Selon le C. de Rumford, la surface du cuivre jaune envoie 5 fois plus de rayons à une température quelconque, lorsqu'elle est noircie sur la flamme d'une bougie, que lorsque la surface du métal est nette et bien polie. *Mém. sur la chal. p. 144.* Or selon ce même physicien, l'étain à cet égard ressemble parfaitement au cuivre jaune. *Ibid. p. 150. et p. 47. P. P. p.*

été la même, et cependant les effets produits à quelque distance ont été bien différens. Qu'une telle différence d'action pût avoir lieu entre les métaux et les substances polies et vitreuses, c'est ce que les faits connus jusqu'ici ne nous auroient point portés à soupçonner. Mais quelque étrange que cette différence puisse nous paroître, elle n'en est pas moins réelle et palpable. Et pour la découvrir, il n'est pas besoin d'appareils bien délicats. En effet, que je présente ma main à un pouce de distance de la face noire du vase, j'éprouve à l'instant une chaleur très-sensible et agréable. Mais si j'approche ma main à la même distance de la face d'étain brillant, à peine ai-je le plus léger sentiment de chaleur, jusqu'au moment où, à force de m'en approcher, je viens enfin à la toucher.

EXPÉRIENCE III.

Couvrez la boule focale avec un petit morceau de feuille d'étain, et faites en sorte de l'y appliquer bien exactement dans toute sa rondeur, en rabattant ou adoucissant les plis, mais en évitant soigneusement d'en sillonner la surface. Replacez ensuite le thermomètre différentiel, remplissez de nouveau le vase d'eau bouillante, et présentez au

miroir la face noircie. Sous cette forme, l'effet sera réduit à environ 20 degrés. Substituez à la face noircie, la face brillante; et l'effet ne sera que de $2\frac{1}{2}$ degrés.

L'étain est donc cinq fois moins susceptible de l'impression de la chaleur que n'est le verre. Ainsi la différence remarquable, indiquée par les expériences précédentes, se manifeste également dans l'acte de recevoir la chaleur et dans celui de la propager. Nous rechercherons ailleurs la raison de la différence qui se manifeste entre ces deux effets. »

Explication.

§. 147. Après ce qui a été dit sur l'effet des corps réflecteurs et des non-réflecteurs, il y a peu à ajouter pour expliquer les phénomènes précédens. Le noir de fumée est le moins réflecteur des corps mis ici en expérience. L'étain poli est le plus réflecteur. Il est donc naturel que les effets observés aient lieu. La surface d'étain du vase chaud transmet peu la chaleur, parce qu'elle réfléchit le calorique en dedans. La boule du thermomètre, lorsqu'elle est revêtue d'étain, reçoit peu de chaleur, parce qu'elle la réfléchit en dehors (§§. 119. 121.). Quant aux rapports de ces transmissions ou

réflexions par divers corps, tels que le noir de fumée, le papier, le verre et l'étain, mis ici en expérience; c'est une circonstance qui dépend de leur structure intime et propre, sur laquelle la théorie ne pouvoit antérieurement rien nous apprendre. Il est intéressant de voir l'accord qui règne à cet égard entre les observations, en particulier relativement à la nature du verre qui transmet le calorique sept ou huit fois plus que le métal poli, et le réfléchit sept ou huit fois moins, comme l'expérience suivante va le faire voir.

EXPÉRIENCE IV.

§. 148. « Au miroir de fer-blanc, substituez un miroir de verre concave. Enlevez l'enveloppe de feuille d'étain qui recouvroit la boule focale; disposez convenablement vos appareils; et après avoir présenté au miroir la face noircie du vase, remplissez de nouveau celui-ci d'eau bouillante. La liqueur colorée s'élèvera d'une quantité petite, mais visible. Enlevez l'amalgame adhérent à la surface postérieure du miroir concave; et l'effet sera le même qu'auparavant. Détruisez le poli de cette même surface en l'usant au sable ou à l'émeri; l'effet sera encore le même. C'est une preuve décisive que la réflexion

de la chaleur s'opère en entier à la surface antérieure du miroir. Couvrez cette surface antérieure d'un enduit d'encre de la Chine, qui forme une couche égale et polie; replacez ensuite le miroir, et vous verrez que l'effet est maintenant devenu tout-à-fait insensible. Couvrez au contraire cette même surface d'une feuille d'étain, en la collant et l'appliquant de manière à en suivre soigneusement la courbure, et en rabattant ou adoucissant, autant qu'il est possible, les plis et les inégalités; et aussitôt un grand changement se manifestera. L'effet de ce miroir métallique sera dix fois aussi grand que celui du miroir de verre non revêtu.

Il paroît de là, qu'indépendamment de la figure et du poli, la nature même de la substance dont la surface est composée a une influence prédominante sur la mesure de la chaleur réfléchie. En effet, les autres conditions sont d'une bien moindre importance. Je revêtis un miroir d'étain d'une feuille de même métal, et je trouvai qu'en cet état il possédoit encore les deux tiers, ou même les trois quarts, du pouvoir qu'il avoit précédemment. Mais les effets si différens des surfaces métalliques et vitreuses, relativement à la réflexion de la chaleur, ne peuvent manquer de frapper l'observateur

le moins attentif. Si je mets un miroir concave de verre étamé au fond d'une chambre, en face d'un bon feu; en portant le doigt au foyer, je n'aurai qu'une légère sensation de chaleur. Si je place au même lieu un miroir d'étain, la chaleur du foyer devient bientôt intolérable, et supérieure à celle qu'on éprouve en approchant la main du feu même, à la distance de deux ou trois pouces *.

Il peut être utile de rassembler sous un même point de vue les différens résultats des expériences précédentes. Ce sera peut-être un moyen de voir plus clairement que la chaleur, provenant de la même source, et agissant à la même distance, peut néanmoins produire des effets extrêmement différens. Supposons que la face brillante du vase soit placée de front devant un miroir concave de verre, et que la boule focale, placée convenablement, soit revêtue d'une feuille d'étain; l'effet sera très-petit, sensible cependant si les circonstances sont favorables. Appelons cet effet 1. Couvrez la surface an-

* Mr. Pictet, dans son *Essai sur le feu*, imprimé en 1791 §. 67, avoit déjà indiqué la différence considérable qui existe entre les miroirs de verre et ceux de métal, quant à la faculté de réfléchir la chaleur. Et avant lui Scheele l'avoit aperçue. Voyez ci-dessus §. 1. *P. P. p.*

térieure du miroir d'une feuille d'étain; la liqueur du thermomètre différentiel montera à 10. Enlevez cette enveloppe de la boule focale; et l'action croîtra jusqu'à 50. Présentez ensuite au miroir ainsi revêtu la face noircie du vase; et vous obtiendrez l'effet extrême, qui sera égal à 400.

Toutes ces expériences réussissent également avec le froid, qui manifeste la même diversité d'effets, et les mêmes rapports entr'eux, quoique nécessairement plus limités. L'expérience II ne peut se faire d'une manière satisfaisante par le froid, que dans une atmosphère sèche; car si l'atmosphère est humide, la surface de l'étain se couvre très-vite de rosée, ou d'une croûte de glace. L'un ou l'autre de ces accidens change entièrement la mesure de l'effet. Il faut avouer que les expériences avec le froid, quoique parfaitement d'accord, sont d'une exécution plus difficile que les expériences avec la chaleur, et requièrent plus d'attention et une observation plus exacte. »

§. 149. L'auteur fait quelques remarques à la suite de cet exposé.

« Le pouvoir d'absorber la chaleur, dit-il, et le pouvoir de l'émettre, semblent être toujours réunis au même degré. Cette réunion décèle une commune

origine, et découvre un fait unique, qui s'offre à nous sous divers aspects. On voit aussi que les diverses aptitudes à réfléchir la chaleur, dans les diverses surfaces où on l'observe, doivent dépendre du même principe. La partie de la chaleur qui est réfléchie n'est que celle qui n'a pas été absorbée. Ainsi une couche d'encre de la Chine ne produit aucune réflexion sensible, parce que cette matière est éminemment absorbante relativement à la chaleur. Un miroir concave de verre produit quelque réflexion, parce que sa disposition à absorber, quoique très-grande, est inférieure à celle de la couche noire. Une surface d'étain, absorbant très-peu de chaleur, produit la plus forte réflexion. »

Explication.

§. 150. Nous avons ici trois objets distincts sous les yeux. Le premier est ce qui concerne la réflexion par le miroir de verre. Le second se rapporte à la réflexion du froid. Le troisième est le rapport observé entre la réception et l'émission de la chaleur, ainsi qu'entre la réflexion et l'absorption.

I. *De la réflexion par un miroir de verre.* L'auteur me paroît prouver fort bien que la réflexion opérée par le miroir de verre, et qui

est rendue sensible dans cette quatrième expérience, n'est produite que par la surface antérieure du miroir. C'est aussi à quoi nous avions tout lieu de nous attendre. On sait en effet que le verre transmet fort peu de chaleur d'une manière immédiate et instantanée. Celle que cette substance paroît transmettre, et qui se manifeste au bout d'un tems plus ou moins long, n'est que le rayonnement produit par son propre échauffement. J'ai fait voir en discutant les belles expériences de Mr. Herschel, qu'elles attestent cette vérité, et qu'il seroit possible que les mêmes résultats eussent été obtenus, sans qu'il y eût eu aucune transmission instantanée du calorique *. Le calorique ne peut donc pénétrer l'épaisseur du verre que par voie de conductibilité, et par conséquent fort lentement. La partie qui pénètre ainsi le verre est considérable, et certainement beaucoup plus grande que celle qui pénètre de même dans l'étain. L'étain poli répercute presque tout le calorique qui se présente à lui. Le verre au contraire le laisse presque tout pénétrer dans l'intérieur de sa substance. C'est ce qui résulte des précédentes expériences (§§. 146, 147.).

* Trans. phil. pour 1802, p. 417. Voyez aussi le §. 80. de cet ouvrage.

147.). Mais il est évident que le calorique réfléchi est toute la partie qui n'est ni immédiatement transmise, ni incorporée par voie de conductibilité. Il est donc manifeste que la réflexion par le verre est beaucoup moindre que par l'étain. C'est la raison de la foiblesse de l'effet produit par le miroir concave de verre. Cet effet ne peut être produit que par la surface antérieure, et cette surface réfléchit peu. Il est bien vrai que, lorsque l'expérience dure quelque tems, le calorique, incorporé dans le verre par voie de conductibilité, doit se manifester par quelque rayonnement. Mais il faut remarquer qu'il n'y a aucune raison pour que ce rayonnement se dirige au foyer, plutôt qu'à tout autre point. Il entre et sort, en serpentant en tout sens. Or tout prouve que, dans ce genre d'expériences, il faut, pour que la chaleur devienne sensible, qu'elle se concentre. Si donc celle-ci a quelque effet, il doit être très-petit, insensible, ou confondu avec l'effet de la réflexion à la surface antérieure.

II. *Sur la réflexion du froid.* Quoique j'aie déjà abondamment traité ce sujet, et que j'aie suffisamment prouvé que le phénomène de la réflexion du froid est une suite inévitable de la théorie de l'équilibre mobile, (§§ 99, 100, 101, 108, 113, etc.) il ne sera pas inutile

d'y revenir et de saisir cette occasion de montrer avec quelle précision cette classe de faits vient se ranger sous les lois que nous avons reconnues *. Les observations de l'auteur sur ce point se réduisent à ce peu de mots : « Les » effets produits par le froid suivent les mêmes » rapports que les effets produits par la chaleur. » Partons maintenant des lois de l'équilibre mobile ; supposons cet équilibre établi entre deux corps quelconques ; c'est-à-dire, supposons entre ces corps des échanges égaux de rayons calorifiques ; de part et d'autre ces échanges se composent d'émissions et de réflexions. Élevez ou abaissez la température de l'un des deux ; vous augmentez ou vous diminuez son émission seulement. Il doit donc arriver qu'un corps, qui (par sa nature ou par son défaut de poli) émet plus, manifeste une influence plus grande, soit pour échauffer soit pour refroidir. Et il importe peu que les échanges se fassent directement ou par l'intermédiaire d'un miroir. Les rayons calorifiques du vase s'échangent principalement avec la boule focale. Si la face du vase est un corps réflecteur, le courant de calorique qu'envoie le vase est peu compose d'émission. S'il s'é-

* Voyez la note sur le §. 160. p. 93.

chauffe, ou s'il se refroidit; l'équilibre est peu détruit, et la boule focale qui le rétablit gagne ou perd peu. Le contraire a lieu avec le verre, le papier, et le noir de fumée, selon leur nature plus ou moins réfléchissante. Si le miroir concave est d'étain, le courant de calorique que reçoit la boule focale est presque tout composé de rayons réfléchis. Dans le cas, p. ex., où on remplit de glace le vase, et où l'on présente la face noircie, l'émission du vase diminue tout-à-coup; celle du thermomètre reste d'abord la même, mais s'épuise bientôt en envoyant sans recevoir, ou en recevant très-peu. Le thermomètre différentiel doit donc indiquer un refroidissement. Substituez le miroir concave de verre. Puisque le verre absorbe la chaleur et la réfléchit peu, le courant que reçoit la boule focale à l'état d'équilibre est presque tout composé d'émissions. Mais il n'y a que le courant réfléchi par le verre, qui puisse rendre sensible au thermomètre différentiel le refroidissement du vase. Il est donc bien naturel que le mouvement de la liqueur colorée y soit beaucoup moindre que par le miroir d'étain. Le cas où l'on enveloppe la boule du thermomètre d'une feuille d'étain dépend, quant au refroidissement, de la réflexion intérieure. Le courant qui, dans l'état

d'équilibre, va de la boule focale au vase est principalement composé de rayons réfléchis. Cette boule, en cet état, émet peu et reçoit peu. Il n'est donc pas étonnant qu'elle soit peu affectée de quelque diminution dans la quantité qu'elle reçoit, quoique son émission reste à peu près la même. Il n'est pas nécessaire de parcourir les cas de combinaisons. On comprend aisément comment les rapports d'émissions diminuent quand le miroir et la boule focale sont étamés l'un et l'autre, etc.

III. Je n'ai rien à dire de plus sur les rapports observés entre l'absorption et la réflexion d'un côté, la réception et l'émission de l'autre. Quant au premier de ces rapports, notre théorie nous apprend, que de tout le courant de calorique, la partie réfléchie est la seule qui ne soit pas absorbée. Quant au second rapport, il dépend de cette circonstance, que la réflexion s'opère par la surface polie à l'intérieur comme à l'extérieur. J'ai énoncé et discuté ce point ailleurs (§. 118.).

CHAPITRE IV.

Sur la chaleur interceptée et transmise.

§. 151. POUR les expériences suivantes on se pourvoit d'un support en bois plus large que le plus grand des miroirs qu'on se propose d'employer, c'est-à-dire, d'environ seize pouces carrés, porté sur deux pieds, et destiné à recevoir un écran, fait de substances variées, selon le besoin. On place cet écran dans une position verticale.

EXPÉRIENCE V.

§. 152. « Adaptez au support une feuille d'étain; et après avoir disposé vos appareils comme ci-devant, en présentant au miroir métallique la face noircie du vase cubique, placez l'écran dans une position parallèle à cette face, de manière qu'il n'en soit éloigné que d'environ deux pouces. Cet écran interceptera complètement l'influence de la température du vase sur celle de la boule focale. Du moins s'il reste encore quelque influence, elle est trop petite pour être aperçue. Le même phénomène a lieu à quelque distance que l'on place l'écran entre le vase et le

miroir, pourvu qu'il ne touche pas le vase et qu'il en soit sensiblement détaché. »

Explication.

§. 353. Si la feuille d'étain touchoit la face du vase, elle participeroit à sa température par voie de conductibilité et rayonneroit, quoique foiblement, selon sa nature. Mais placé à quelque distance, même à une distance très-petite, elle ne peut s'échauffer que par voie de rayonnement : or comme l'étain poli est un bon réflecteur, il reçoit très-peu de chaleur par cette voie, et par conséquent il ne peut ni s'échauffer ni rayonner d'une manière sensible.

§. 154. L'auteur tire de cette expérience une conséquence, que je ne crois pas légitime, sur la grossièreté du fluide intercepté. Il a vu cette interception opérée par une feuille métallique, dont l'épaisseur n'excédoit pas $\frac{1}{500}$ ème de pouce ; et même par une feuille d'or 600 fois plus mince, et devenue sensiblement transparente. Sans vouloir rien préjuger sur la subtilité du calorique, je me contenterai d'observer, que, comme la réflexion de la lumière ne s'opère pas au contact, mais à une petite distance de la surface réfléchissante, il pourroit bien en être de même du calorique. Il y a

quelques raisons de le présumer. Dès lors la réflexion qu'opère sur ce fluide une surface mince, ne peut point prouver qu'il est grossier. En effet il est probable que le calorique réfléchi ne pénètre pas plus dans les pores de la surface réfléchissante que n'y pénètre la lumière. Si en quelques cas l'un de ces fluides traverse la surface, et non pas l'autre, cela tient sans doute à leur nature, qui fait que l'un est plus fortement attiré ou repoussé que l'autre. Du reste je répète que tout ceci n'est dit que dans le but d'écarter une conséquence hasardée, et que je n'entends d'ailleurs rien préjuger sur la subtilité du fluide calorifique, ni sur la différence ou l'identité de ce fluide et de la lumière. Si donc une feuille d'or très-mince paroît un peu transparente et point transcaloreuse, cela peut tenir ou à ce que l'œil est un appréciateur de la lumière plus sensible que tout thermoscope ne l'est de la chaleur, ou à ce que le calorique est autre que la lumière, soit qu'il ait moins de subtilité, soit qu'il ait une réflexibilité différente.

EXPÉRIENCE VI.

§. 155. « Les choses étant disposées comme auparavant, ôtez la feuille d'étain du support de l'écran

et mettez à sa place une feuille de verre (dit crown-glass). Avec cet écran, vous observerez un changement notable. La liqueur du thermomètre différentiel s'élèvera de 20 degrés (en estimant à 100 l'effet entier et sans obstacle de la face noircie).

Ainsi l'interposition du verre n'anéantit pas l'effet sur la boule focale, comme faisoit celle de l'étain; elle réduit seulement cet effet à la cinquième partie de sa première intensité. »

Explication.

§. 156. Comme le verre reçoit une partie du calorique, cette partie l'échauffe, le traverse et rayonne. Cette expérience est tout-à-fait semblable à celles de Mr. Herschel que j'ai discutées *. Si l'on vouloit savoir quelle partie de cette transmission se fait immédiatement et instantanément, à la manière de la lumière, et quelle partie se fait lentement, ou par voie de conductibilité, il faudroit des expériences, où l'effet instantanée fût distingué de l'effet lent.

Expérience VII.

§. 157. «L'appareil demeurant dans la même situation, placez successivement l'écran de verre à des dis-

* Phil. Trans. 1802. Et §§. 59 et suiv. de cet ouvrage.

tances plus grandes du vase cubique, en ayant soin qu'il soit constamment parallèle à lui-même et à la face noircie devant laquelle on le place. A chaque augmentation de distance, on verra diminuer régulièrement l'impression sur la boule focale; tellement que lorsque l'écran sera placé à un pied du vase, et par conséquent à deux pieds du miroir, l'effet sera réduit à la $\frac{1}{50}$ème partie de celui qui a lieu sans aucun obstacle. »

Explication.

§. 158. L'effet s'est donc trouvé inversement proportionnel à la distance de l'écran au vase. Car lorsque cet écran étoit à 2 pouces, l'effet s'est trouvé de la $\frac{1}{5}$ème partie de l'effet total et sans obstacle (Exp. V.). Et maintenant que l'écran est à un pied, l'effet est $\frac{1}{50}$ème de ce même effet total. Cela peut s'expliquer, mais de plus d'une façon, parce qu'il y a quelque indétermination dans les phénomènes de détail. Je me bornerai pour le moment à l'explication la plus simple et la plus apparente. Supposons que la transmission immédiate et instantanée du verre soit absolument nulle; et que toute la chaleur, communiquée à la boule focale, soit une partie de celle que l'écran a acquise par voie de conductibilité; ou, en d'autres

termes, que toute cette chaleur soit l'effet du rayonnement produit par l'échauffement de la feuille de verre : on voit à l'instant une cause qui doit diminuer l'effet sur la boule focale, à mesure que l'écran s'éloigne de la source de chaleur. Cet écran de verre doit s'échauffer moins, et par conséquent le rayonnement produit par cet échauffement doit diminuer proportionnellement. Au premier coup-d'œil il paroîtroit que cet échauffement et ce rayonnement devroient être l'un et l'autre comme l'inverse du carré de la distance de l'écran à la source, et non comme la distance simple. Mais il faut considérer que si l'écran s'éloigne du vase, il s'approche un peu de la boule focale, quoique non dans un rapport aussi rapide. C'est peut-être l'une des causes qui réduisent la raison doublée à la raison simple. D'ailleurs nous verrons plus bas quelques faits, et nous ferons quelques remarques, applicables à ce cas, dont le détail seroit ici moins bien placé. J'ajoute seulement qu'il n'est pas prouvé qu'il n'y ait aucune transmission immédiate et instantanée du calorique. Or celle-ci, si elle a lieu, est la même à toute distance de l'écran au vase. On voit donc enfin que le fait est bien tel qu'on pouvoit l'attendre ; et que ce qui nous manque, pour déterminer les quantités

par la théorie, ne se présente point ici sous forme d'objection, mais seulement comme un vide à remplir par des expériences nouvelles.

EXPÉRIENCE VIII.

§. 159. « Otez la feuille de verre, et mettez à la place sur le support une feuille de papier à écrire. Disposez l'appareil convenablement; placez l'écran devant la face noircie à deux pouces de distance; et remplissez le vase d'eau bouillante. La liqueur du thermomètre différentiel s'élèvera à 23 degrés. Cet effet est presque le quart de celui qui a lieu sans l'interposition de l'écran.

Ainsi, avec un écran de papier, qui pourroit paroître une substance opaque, non-seulement l'impression de la chaleur est transmise, mais même elle est transmise avec plus d'intensité, qu'à travers l'écran de verre. La loi, selon laquelle l'impression diminue à mesure que l'écran s'éloigne du vase, est aussi la même. »

Explication.

§. 160. Je n'ai rien à ajouter à l'explication précédente, laquelle s'applique ici immédiatement. Quant aux quantités transmises, j'ai quelque regret que l'auteur se soit contenté d'une

phrase générale pour exprimer la loi, selon laquelle l'impression diminue, à mesure que l'écran s'éloigne du vase. Si les résultats détaillés de ces expériences avoient été sous nos yeux, nous aurions pu en tirer quelque conséquence relativement à la transmission immédiate et instantanée. Supposons, par exemple que le papier soit un peu plus perméable à la chaleur que le verre, on devroit trouver que la diminution d'effet par l'augmentation de la distance de l'écran au vase, est proportionnellement moindre pour le papier que pour le verre; et réciproquement dans le cas inverse. Ce sont des détails ignorés. Du reste rien antérieurement ne pouvoit nous apprendre si, par la même source de chaleur présentée d'un seul côté, le papier atteint un échauffement plus grand ou moindre que le verre. Il n'y a donc dans ce résultat d'expérience rien qui doive nous surprendre; c'est-à-dire, rien qui ne soit d'accord avec la théorie.

Dans un même corps l'échauffement et le rayonnement paroissent être proportionnels à la chaleur de la source, du moins entre certaines limites. Mais dans deux corps différens, nous ne pouvons point affirmer la même chose. P. ex., le verre réfléchit peut-être plus de chaleur que le papier; cela suffit pour qu'il s'échauffe

moins. La feuille de verre étoit probablement beaucoup plus épaisse que la feuille de papier. C'est une cause de déperdition de chaleur. Car dès que la 1.ere couche est échauffée, elle rayonne : par conséquent, elle n'envoie à la 2.de qu'une chaleur diminuée. La 2.de rend à la 1.ere quelque partie de ce qu'elle en a reçu, et diminue d'autant sa transmission à la 3.eme couche. Outre cela on ne peut pas savoir si une partie du calorique ne reste pas latent dans le corps à mesure qu'il le traverse. De plus il peut se faire qu'un corps par sa nature rayonne une quantité proportionnellement plus grande qu'un autre. En ce cas il devroit, sous l'influence d'une même source arriver à un moindre degré d'échauffement. Car si l'on suppose deux lames d'une même épaisseur, mais de différente nature à l'égard du rayonnement, et si l'on divise par la pensée ces lames en plusieurs couches ; on sentira, qu'à l'instant où la couche immédiatement exposée à l'influence de la source commence à recevoir du calorique, elle l'émet et rayonne, en pure perte pour l'échauffement de la lame. Plus donc elle sera proportionnellement rayonnante, moins elle s'échauffera. Enfin la plus ou moins grande conductibilité d'un corps, je veux dire, la plus ou moins grande vitesse

avec laquelle le calorique le traverse en serpentant de particule à particule, doit encore avoir ici beaucoup d'influence. Car pendant tout le tems que le calorique, qui a pénétré dans le corps, met à le traverser, la couche exposée à la source rayonne. Et ce rayonnement, sous même intensité, doit être proportionnel au tems (§. 31.). Cette cause de refroidissement est donc plus active dans le corps doué d'une moindre conductibilité : sans dire que la lenteur de cette marche intérieure doit donner plus aisément prise aux divers accidens, qui peuvent arrêter le calorique dans le corps à l'état latent, et en occasionner la déperdition pour l'effet qu'on a en vue. Il n'y a donc nul lieu de s'étonner que deux feuilles de diverse nature et de diverse épaisseur, telles que les écrans de verre et de papier, aient produit des effets différens.

EXPÉRIENCE IX.

§. 161. « Disposez l'appareil comme à l'ordinaire. Détachez le papier, et substituez-y, en forme d'écran, une fine lame de glace. La liqueur du thermomètre différentiel, loin de s'élever, baissera ; et cette baisse sera proportionnelle à la chaleur de la chambre *.

* Sans doute il faut entendre cette phrase d'après l'expression

Enlevez le vase cubique, et l'effet restera le même.

Il est donc clair que, dans cette expérience, la glace agit seule et qu'elle n'est affectée en aucune façon par le voisinage du vase. »

L'auteur fait remarquer que tout le courant de calorique qui vient frapper la surface de la glace du côté du vase s'emploie à la fondre. La température de la glace, dit-il, demeure invariablement constante; et même les côtés de cette lame, où s'opère la fusion, sont maintenus au degré zéro ou à un degré très-voisin.

Explication.

§. 162. Je n'ai rien à ajouter à cette remarque de l'auteur, qui explique bien le phénomène, sinon que l'on peut conclure de cette expérience, qu'à travers la glace, il ne se fait aucune transmission immédiate et instantanée de calorique, qui soit sensible à l'instrument ici employé. Je n'oserois dire qu'il ne s'en fait aucune plus subtile et inappréciable à cet instrument. J'aurai occasion d'exposer ailleurs le motif de ce doute (§. 176.).

---

plus exacte que l'auteur a employée ci-dessus, lorsqu'il a dit que l'effet est toujours proportionné à la différence de température. Ainsi la glace étant ici à zéro, l'effet étoit proportionné aux degrés au-dessus de zéro de la température de la chambre. *P. P. p.*

EXPÉRIENCE X.

§. 163. « Choisissez deux carreaux de verre (dit orown-glass), aussi planes et aussi unis qu'il sera possible; revêtez chacun d'eux d'un côté d'une feuille d'étain au moyen d'un peu d'eau gommée. Cela fait, et vos appareils étant disposés, joignez ces carreaux en appliquant l'une contre l'autre les surfaces garnies d'étain, et placez-les eu cet état sur le support, pour qu'elles fassent office d'écran. La boule focale recevra une impression égale à peu près à 18 degrés. Changez ensuite cette disposition des carreaux de verre, et joignez-les en les appliquant par leurs surfaces nues, de manière que les surfaces garnies d'étain soient à l'extérieur. La liqueur du thermomètre différentiel retombera au commencement de l'échelle. »

Explication.

§. 164. Nous savons que le verre transmet peu ou point de calorique d'une manière immédiate et instantanée, mais qu'il en transmet beaucoup, quoique lentement, par voie de conductibilité. Lors donc que, sous la première forme de l'appareil, on présente à la source une lame de verre, la plus grande partie du calorique

calorique s'y engage et arrive en serpentant à la feuille double d'étain qui ne fait qu'un seul corps avec le verre. Il ne peut pas s'opérer une réflexion dans ces circonstances, puisque le calorique dont il s'agit serpente de particule à particule, et puisque les deux faces polies sont mises en contact intime. Comme on sait d'ailleurs que les métaux sont fort bons conducteurs du calorique, celui-ci les traverse vite et avec peu de perte, et se trouve porté sur le carreau de verre opposé, toujours par voie de conductibilité. On comprend donc aisément qu'il ne doit pas y avoir beaucoup plus de diminution d'effet, que dans le cas où un seul carreau de verre nu est employé comme écran. Au contraire, lorsqu'on applique les carreaux par le verre nu et que l'étain forme de part et d'autre les surfaces extérieures, il y a une forte réflexion à l'une et à l'autre de ces surfaces. A la première que rencontre le calorique la réflexion s'opère au dehors. Et à la seconde en dedans. L'une et l'autre s'opèrent sur le calorique libre, savoir la première sur le calorique qui aborde l'écran et qui ne s'y est point encore engagé ; et la seconde sur le calorique sortant de l'écran au moment où il se dégage. Cette réflexion, forte à la fois dans

les deux sens, n'est pas sans analogie avec quelques phénomènes catoptriques que la lumière a présentés dès long-tems aux observateurs. C'est une propriété du calorique, qui n'offre rien qui soit en contradiction avec d'autres, et qui est au contraire appuyée sur des faits difficiles à contester (§. 118.).

Dans l'explication de cette partie de l'expérience où l'on applique les deux surfaces d'étain l'une contre l'autre, j'ai envisagé cette double feuille métallique comme n'en faisant qu'une. Si l'on pense que cette conception est fausse, parce que l'application la plus exacte doit toujours laisser une lame d'air entre les deux feuilles; on ne laissera pas d'arriver au même résultat; comme y est arrivé en effet l'ingénieux auteur de l'extrait de cet ouvrage de Mr. Leslie, inséré dans la Bibliothèque britannique *. « Il se fait, dit-il, entre ces » lames conjointes, un jeu de réflexions al- » ternatives, dont l'issue est une transmission » partielle finale vers le côté opposé à la » source. » On conçoit en effet, que deux surfaces si rapprochées donneroient lieu à une succession comme infinie et très-rapide de réflexions, à chacune desquelles le calorique devroit se transmettre en partie.

* T. XXVIII. p. 127.

C'est peut-être le degré de subtilité du calorique qui, une fois passablement déterminée, pourroit faire donner la préférence à l'une ou à l'autre de ces explications. Mais, quelle que soit celle que l'on doive préférer, il est au moins certain qu'à travers deux lames mises en contact apparent, la transmission du calorique s'opère à peu près comme à travers une seule lame. Nous en avons une preuve dans le détail de l'expérience V (§. 152.), où l'auteur dit implicitement que, si la feuille d'étain qui sert d'écran est mise en contact avec la face du vase cubique, il y a transmission.

EXPÉRIENCE XI.

§. 165. « Prenez deux plaques ou lames d'étain, planées au marteau, de manière à être bien plates et polies; peignez chacune d'elles d'un côté seulement avec une fine couche de noir de fumée. Rangez l'appareil comme à l'ordinaire; joignez ces lames en appliquant l'une contre l'autre les faces brillantes; placez-les en cet état sur le support vertical, pour les employer comme un écran: la liqueur du thermomètre différentiel s'élèvera à 23 degrés. Changez la situation de ces lames, et appliquez-les l'une à l'autre par leurs faces noircies: la liqueur des-

cendra à zéro. Enlevez l'une ou l'autre des lames; et la liqueur remontera à 4 degrés. »

L'auteur établit ici une comparaison entre ces résultats et ceux des expériences précédentes. Voici comme il s'exprime à ce sujet.

» Comparez le cas où les deux surfaces extérieures de l'écran sont métalliques, avec celui dans lequel elles sont enduites de noir de fumée. Dans le premier cas il reçoit cinq fois moins de chaleur, et cette chaleur est propagée avec huit fois moins d'énergie, que dans le second cas. Par le concours de ces deux circonstances, l'effet doit donc être 40 fois moindre; ce qui correspond à un demi-degré*;

* Le résultat de l'expérience II nous fait voir que la face brillante laisse passer, ou propage, la chaleur avec huit fois moins d'énergie que la face noircie. Quant à la facilité avec laquelle elle la reçoit ou la laisse entrer, elle est probablement la même: et les expériences avec le froid l'indiquent assez. Du reste, l'auteur n'a jusqu'ici fait aucune autre expérience directe là-dessus. Il n'a point présenté de l'étain noirci comme écran, avant cette XI.e Exp. Les nombres qu'il emploie ici sont tirés des expériences faites avec le verre. Voyez Exp. III. et IV. Peut-être a-t-il en vue l'exp. X, où il a fait usage de verre noirci des deux côtés à l'extérieur; mais outre que cette exp. diffère de celle-ci par la matière intérieure de la lame servant d'écran; il y est fait usage de deux faces noircies dont l'une reçoit et l'autre propage. D'ailleurs les nombres s'accorderoient; car ces 2 faces réduisoient l'effet à 18 ou à peu près au $\frac{1}{5}$ de l'effet total, et $\frac{18}{40}$ est à peu près $\frac{1}{2}$.
P. P. p.

quantité à peine perceptible. Lorsque l'écran consiste en une seule plaque noircie d'un côté, l'effet diminué est une moyenne entre les facultés de recevoir et de propager, ou $6\frac{1}{2}$ fois moindre que lorsque les deux surfaces sont peintes en noir. En conséquence cette impression affoiblie est égale à environ 4 degrés. »

Explication.

§. 166. Cette expérience diffère peu de la précédente, et n'exige pas une nouvelle explication. Lorsqu'on applique les plaques par leurs surfaces polies, elles forment un corps non réflecteur, qui reçoit et émet le calorique avec facilité. Le contraire a lieu lorsqu'on les applique par les faces noircies. (Voyez le §. 164.).

EXPÉRIENCE XII.

§. 167. « Placez chacune de ces plaques d'étain, noircies d'un côté seulement, sur un support particulier. Disposez l'appareil comme de coutume. Placez ensuite le premier écran, de manière que son côté noirci regarde de front la face noircie du vase cubique. Mettez le second écran en contact avec le premier, de manière qu'ils s'appliquent par

leurs faces brillantes et métalliques. La boule focale acquerra, comme nous l'avons dit, une chaleur de 23 degrés. Eloignez maintenant le second écran du premier, en le tenant toujours parallèle à lui-même; et faites qu'il soit de deux pouces plus près du miroir. L'effet sur le thermomètre différentiel disparoîtra entièrement.

Quand les deux plaques formoient un seul corps, elles étoient évidemment de même température. Mais dès qu'elles ont été séparées, le second écran dérivoit sa chaleur du premier par un double intermédiaire, savoir par l'émission faite à travers une surface métallique et par la faculté de recevoir cette émission autant qu'en jouit une pareille surface. Par conséquent l'excès de la température transmise, par dessus celle de la chambre, étoit réduit à sa 40eme partie; et l'action sur la boule focale étoit diminuée en conséquence. »

Explication.

§. 168. L'auteur l'a donnée; si ce n'est peut-être que le nombre 40 qu'il emploie ne se trouve pas déduit de ses premières expériences d'une manière régulière, comme je l'ai fait remarquer en note à propos de la précédente expérience (§. 165.).

EXPÉRIENCE XIII.

§. 169. « Ayez à votre disposition quelques planchettes de sapin de différente épaisseur, et planées des deux côtés, pour faire office d'écran. Arrangez tout comme auparavant, et placez successivement ces nouveaux écrans dans leur position accoutumée. Avec un écran épais d'un huitième de pouce, l'effet sera de 20 degrés; avec un autre de trois huitièmes, l'effet sera de 15 degrés; et avec un troisième d'un pouce entier, l'effet sera de 9 degrés seulement. Ces quantités ne changent pas, si l'on peint les côtés de ces planchettes avec du noir de fumée. A peine est-il besoin de faire remarquer que, dans cette expérience, il s'écoule un tems très-sensible avant que les impressions soient pleinement produites.

Explication.

§. 170. Ceci dépend de la cause que j'ai suffisamment développée, en expliquant les expériences de Mr. Herschel (§. 91.). Un seul côté de l'écran est échauffé par la source; l'autre côté ne reçoit rien, et perd, par l'émission, le calorique qui lui est transmis. Chaque couche, comptée depuis la source, peut être envisagée comme une source par rapport à celle qui la

suit. La 1.ère couche ne peut pas atteindre la chaleur de la source, ni la 2.de celle de la 1.ère, ni la 3.e celle de la 2.de, etc. Mais il y a plusieurs circonstances qui empêchent que les transmissions ne suivent ici une progression géométrique parfaitement régulière. — 1.° La source, c'est-à-dire, le vase cubique, est à deux pouces de la 1.ère couche, qui reçoit immédiatement son influence; tandis que les couches suivantes sont contiguës. Il doit par cette raison y avoir une plus grande perte de la source à la 1.ère couche, que de la 1.ère couche à la 2.de — 2.° La surface de l'écran, qui est immédiatement exposée à l'influence calorifique, étant exposée à l'air libre, rayonne de ce côté-là aussitôt qu'elle s'échauffe, au lieu qu'il n'y a rien de semblable pour les autres couches. Par ces deux raisons, la 1.ère couche ne transmet que la $\frac{1}{5}$ème du calorique de la source, tandis que les suivantes transmettent une partie beaucoup plus considérable de celle qu'elles reçoivent. Pour qu'il y eût une progression géométrique régulière, il faudroit qu'on eût placé à des intervalles égaux (comme de 2 pouces, par exemple), des écrans de même épaisseur. Mais, même dans cet appareil, il y auroit eu une cause d'inégalité, agissant dans le même sens que les

précédentes. La mesure de l'effet produit par l'interposition des écrans est le mouvement de la liqueur du thermomètre différentiel. Or ce thermomètre est placé à d'inégales distances des écrans, ou même des différentes couches successives d'un même écran. Il doit résulter de là une influence plus forte en apparence de la part des écrans plus rapprochés du thermomètre; et par conséquent quelque légère déviation de la loi. Malgré cela, comme les couches intérieures d'un même écran sont peu affectées de ces causes d'inégalité, on peut observer que la progression géométrique s'y manifeste assez clairement. En effet, puisqu'après avoir traversé une couche de $\frac{1}{8}$ de pouce l'effet est 20 et qu'après $\frac{3}{8}$ il est 15, on peut conclure de là que, dans l'intérieur du bois, $\frac{2}{8}$ d'épaisseur réduisent la transmission au $\frac{3}{4}$ de ce qu'elle étoit auparavant; d'où encore on inférera que l'épaisseur de $\frac{1}{8}$ de pouce réduit la transmission à $\sqrt[5]{\frac{1}{2}}$. Calculant selon cette progression on trouvera que, pour les $\frac{7}{8}$ restans, la transmission doit avoir été 15 degrés multipliés par la cinquième puissance de $\sqrt[5]{\frac{1}{2}}$, quantité égale à $7\frac{1}{3}$ degrés. Au lieu de cela l'expérience a donné 9 degrés pour la transmission par la planche d'un pouce d'épaisseur. Cet écart n'est pas assez considérable pour

qu'on ne puisse pas l'attribuer aux inexactitudes inévitables des instrumens servant ici de mesure. En effet si l'on suppose qu'au lieu de 20 degrés accusés par le thermomètre avec l'écran de $\frac{1}{8}$ de pouce, l'effet ait été de 21 degrés, on trouvera, en suivant le même procédé de calcul dont nous venons de faire usage, que l'effet avec l'écran d'un pouce a dû être précisément tel qu'il a été, c'est-à-dire, de 9 degrés. Dans cette matière, on ne peut approcher beaucoup plus des faits observés, en les estimant par la théorie. Quant à la quantité d'interception par le 1.er écran d'$\frac{1}{8}$ de pouce, on ne pouvoit point en prévoir la quantité; et il suffit d'avoir reconnu qu'elle devoit être (comme elle a été en effet) beaucoup plus que proportionnelle. Si la couleur noire n'a rien ajouté à l'effet, c'est une preuve que le sapin absorbe par lui-même beaucoup de calorique.

§. 171. A la suite de cette expérience, l'auteur ajoute :

« Je n'ai pas besoin de répéter ici que toutes ces expériences réussissent également, et selon les mêmes proportions exactes, par le froid comme par la chaleur. »

§. 172. Ce phénomène ne s'explique pas

moins commodément par l'équilibre mobile en ce cas qu'en tout autre. Avant que l'on place l'écran, le thermomètre différentiel baisse; parce qu'il s'épuise de calorique, en faisant avec le vase des échanges désavantageux. L'écran que l'on interpose empêche cet effet, en faisant lui-même par sa 1.ere couche des échanges désavantageux avec le vase; la 2.de couche en fait à son tour avec la 1.ere, la 3.eme avec la 2.de etc. Mais la 1.ere couche est à 2 pouces du vase, tandis que les couches sont contiguës entr'elles; par cette raison, la 1.ere doit être moins refroidie, que si elle touchoit le vase. De plus, étant immédiatement exposée à l'air libre, elle s'échauffe par la voie du rayonnement général. Outre cela, les couches successives en s'éloignant du vase se rapprochent du miroir, d'où il doit résulter une influence plus grande selon ce rapprochement, car c'est à une distance constante, que se vérifieroit la loi.

§. 173. Je répugne à pousser plus loin ce détail d'explication, qui ne différant du cas précédent, que comme les quantités négatives diffèrent des positives, exigeroit la répétition textuelle des mêmes phrases et des mêmes mots *.

* Voyez à la fin la note E.

§. 174. Mr. Leslie insère, à la suite de sa XIII.me expérience, un fait qui doit être recueilli, quoique jusqu'ici il ne me paroisse pas devoir donner lieu à aucune remarque particulière. Voici ce qu'il rapporte:

« La vitesse de la transmission doit être prodigieuse, car quoique je fisse agir fortement le vent d'un soufflet sur la surface du vase, je ne produisois aucun changement sensible au foyer du miroir. »

Le courant de calorique, tel que nous le concevons, est assez subtil et assez rapide, pour que la vitesse du vent, qui le traverse, ne doive pas l'affecter beaucoup. Et apparemment que le refroidissement (ou l'échauffement), opéré sur le vase chauffé (ou refroidi), n'étoit pas sensible pendant la durée de cette expérience, qui ici (comme on voit) est énoncée fort succinctement.

Expérience XIV.

§. 175. « Placez l'appareil dans une cuve suffisamment grande, et fixez chaque pièce dans la position qu'elle doit avoir. Remplissez ensuite la cuve d'eau froide, de manière à couvrir le tout, à l'exception d'un entonnoir soudé à l'ouverture du vase cubique. Les choses étant ainsi disposées,

versez de l'eau bouillante dans le vase. Quelle que soit celle des faces du vase, qui soit dirigée de front vers le miroir; le thermomètre différentiel ne sera point affecté.»

Remarque.

§. 176. Ceci prouve que dans l'eau il n'y a point de rayonnement, sensible au thermomètre différentiel. On auroit déjà été fort porté à le croire, d'après les belles expériences du C. de Rumford sur le défaut de faculté conductrice des liquides*. Au surplus comme l'eau est transparente à un assez haut degré, elle auroit sans doute manifesté au photomètre la radiation lumineuse. Un photomètre très-sensible devroit accuser même la lumière que n'aperçoit pas l'œil dans l'état ordinaire, et qui ne devient perceptible que dans certains cas particuliers. Mais le photomètre de Mr. Leslie est une espèce de thermomètre, puisqu'il n'est essentiellement que le thermomètre différentiel avec une boule noircie (§. 177.

* Ce même physicien a vu aussi que dans l'air un vase de verre se refroidit plus vite qu'un vase de fer-blanc; et qu'au contraire dans l'eau, c'est le vase de fer-blanc qui se refroidit plus rapidement. *Mém. sur la chaleur*, p. 150.

Exp. XVII.) On peut donc croire que l'eau n'est pas imperméable à toute espèce d'émanation calorifique. Cela pourroit faire soupçonner qu'un thermomètre, encore plus sensible que le thermomètre différentiel, ne seroit pas resté immobile dans cette expérience. Du reste celle-ci ne dépend pas de la théorie du calorique rayonnant, puisqu'aucun rayonnement ne s'y manifeste. Je n'ai donc aucune explication à donner. L'expérience est intéressante sans doute, mais elle n'est pas du ressort de la théorie dont j'ai entrepris de suivre les applications.

CHAPITRE V.

De la loi relative aux distances et aux inclinaisons.

Les expériences que je vais rapporter semblent exiger quelques déterminations particulières dans la constitution du calorique (§. 11.).

§. 177. « Lorsque les émanations se font en ligne droite, leur effet doit en général décroître comme le carré des distances à la surface rayonnante. Mais il y a une distinction essentielle à faire entre la quantité absolue de l'effet et son degré d'intensité. Le même rayon de lumière peut prendre une forme diffuse ou condensée. Il peut couvrir un grand espace d'un foible éclairement, ou agir sur un petit espace avec une force concentrée. La quantité de lumière, que l'œil reçoit d'un corps lumineux éloigné de lui, diminue comme le carré de la distance. Mais la grandeur visuelle de cet objet décroissant dans la même proportion, son éclat ou l'intensité de sa lumière doit être invariable. De même le nombre des rayons qui tombent sur la surface d'un

miroir concave est inversement proportionnel à la distance de l'objet rayonnant. Mais puisque l'image sous-tend, au fond du miroir, le même angle que sous-tend l'objet rayonnant; cette image occupe un espace directement proportionnel au carré de la distance. Par conséquent, en supposant le foyer à une place invariable, il devroit avoir constamment le même degré d'intensité. Lorsque l'objet est éloigné, tout cela est sensiblement vrai, parce qu'en ce cas le foyer correspondant ne se déplace pas sensiblement. Et lorsqu'il se déplace sensiblement on peut démontrer, quoique cela paroisse d'abord un paradoxe, que l'intensité de l'effet diminue un peu à mesure que l'objet s'approche; car, par les lois de la catoptrique, tandis que l'objet s'approche, le foyer s'éloigne un peu du miroir. Je donnerai à ce sujet un théorême assez élégant: Supposons que la réflexion des rayons soit complète, leur faculté d'éclairer au foyer d'un miroir concave est exactement la même que celle qui auroit lieu, si la surface du miroir étoit convertie en une matière semblable à celle de la source lumineuse, et si elle agissoit directement *. Ainsi; que

* Voyez à la fin la note F.

l'on

l'on dirige un miroir concave vers la lune, l'éclat au foyer sera le même, que si l'on supprimoit le miroir, et qu'on lui substituât une surface circulaire de même étendue, composée de la matière de la lune. De même, si l'on pouvoit transporter ici-bas une portion du corps du soleil; elle brûleroit un corps placé à la distance du foyer d'un miroir concave, avec la même intensité que ce miroir concave, supposé de même dimension, peut brûler lorsqu'on le présente au soleil. Ou, pour me servir d'un exemple plus à notre portée, un morceau de papier sur lequel on reçoit l'image de la flamme d'une bougie, acquiert le même éclat, que si on l'éclairoit par un assemblage de bougies occupant la place du miroir, et couvrant en entier sa surface de leurs flammes unies en une seule masse. Il est aisé, en conséquence de ce théorême, de reconnoître, si les transmissions de la chaleur et du froid au travers de l'air se font en ligne droite avec une vitesse constante, et si en conséquence elles sont réfléchies avec la même précision qui a lieu dans le choc des corps élastiques, soit entr'eux soit contre un plan élastique comme eux. Tant que le lieu où se concentrent les impressions est assez étendu pour couvrir la boule du thermo-

mètre différentiel, celui-ci doit indiquer l'intensité d'action dans toute sa plénitude; et en conséquence la mesure ainsi obtenue ne diminuera point, lors même qu'on éloignera le vase cubique du miroir, et qu'on le placera successivement à des distances plus grandes; il devra même arriver au contraire, en l'éloignant ainsi, que la mesure de son action croisse un peu. La seule chose requise est donc que le vase, vu du fond du miroir, sous-tende un angle aussi grand que celui que sous-tend la boule focale. Le miroir dont je faisois usage avoit une longueur focale d'environ 6 pouces, et les boules du thermomètre différentiel étoient de quatre dixièmes de pouce en diamètre. Il résulte de ces données que la condition étoit remplie, tant que la distance du vase ne surpassoit pas 15 fois sa largeur. Or, pour éviter à cet égard toute espèce de risque, je n'ai jamais placé le vase à une distance plus grande que 12 fois sa largeur.

EXPÉRIENCE XV.

Le vase cubique de six pouces, présentant sa face noircie, donnoit, à la distance de trois pieds, l'effet servant d'étalon ou de règle fixe, savoir 100 degrés. Lorsqu'on le plaçoit à la distance de six

pieds, il ne produisoit plus qu'un effet de 57 degrés.

Ainsi en plaçant le vase à une distance double de celle où il étoit d'abord, l'énergie qu'il déploie est réduite presque à la moitié. Mais si l'effet s'étoit opéré conformément aux lois de la catoptrique, au lieu de 57 degrés, il auroit été de 116. En effet, 100 est à 116, comme le carré de 5,37 est au carré de 5,81; ces deux derniers nombres exprimant en pouces les longueurs foçales, correspondant aux distances de 6 et de 3 pieds. En corrigeant de la même manière les quantités, j'ai trouvé en général, dans les limites de mes expériences, que la mesure relative de l'effet étoit presque exactement en raison inverse de la distance du vase. Cette diminution successive ne peut pas être attribuée à quelque obstacle opposé par l'air que traverse l'influence calorifique; car, si cela étoit, la progression, selon laquelle la diminution se seroit opérée, auroit été bien différente. L'effet de la distance de 3, 6 et 9 pieds, au lieu d'être représenté par les fractions $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{9}$, auroit été exprimé par la suite géométrique, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{27}$.

Un écart aussi frappant des propriétés des émanations rectilignes doit provenir de manière ou d'autre, en tout ou en partie, de quelque réflexion

imparfaite. On ne peut pas non plus l'attribuer à quelque inexactitude dans la figure de la surface réfléchissante; car le foyer étant si près du réflecteur, un défaut de cette espèce ne produiroit qu'une aberration de peu de conséquence. Mais si l'on élevoit encore quelques soupçons sur l'influence de cette source d'erreur, l'expérience suivante les feroit entièrement disparoître.

Expérience XVI.

Au lieu de miroir de fer-blanc, je fis usage d'un très-grand miroir concave de verre. Il avoit deux pieds de diamètre, et étoit le segment d'une sphère de six pieds de rayon. Mais comme l'eau bouillante ne produisoit presque aucune impression visible au foyer d'un tel miroir, je préférai pour ce genre d'expériences, le feu de charbon *, comme étant celui qui présentoit la surface ardente la plus uniforme, entretenue d'ailleurs dans un état constant d'ignition, par le courant d'air non interrompu d'un soufflet à double vent. Quand le miroir étoit à dix pieds du feu; la longueur focale étant alors de quatre pieds, le thermomètre différentiel marquoit 37 degrés. Mais quand il eut été

* *Charcoal.*

mis à la distance de trente pieds; la longueur focale correspondante étant 38 pouces, l'effet produit ne fut que de 21 degrés.

Pour comparer ces effets avec précision, il faut appliquer la correction requise pour ces différentes longueurs focales. Comme le carré de 38 est au carré de 48, ou en nombres ronds, comme 8 est à 5, ainsi 21 est à 13. Ainsi l'action du feu, qui s'est manifestée à 30 pieds du miroir, étant rapportée au même foyer que celle qui s'est manifestée à 10 pieds, auroit été de 13 degrés. Ce nombre est presque exactement le tiers de 37, effet qui a eu lieu réellement à la distance de 10 pieds. En ce cas donc, comme dans le cas des miroirs de fer-blanc, l'intensité de l'action a été inversement comme la distance de la source.

Le principe, que j'ai déduit des lois connues de la catoptrique, a été admirablement confirmé par le photomètre. Cet instrument, inventé pour mesurer l'intensité de la lumière, sera décrit pleinement ci-après *. Je me contenterai de dire ici,

* Mr. Leslie consacre en effet la fin de son ouvrage à la description de cet instrument et à une suite d'expériences photométriques, que mon sujet ne m'appelle pas à discuter. *P. P. p.*

que ce n'est autre chose que le thermomètre différentiel sous une forme particulière et réduite, avec une boule noire, le tout étant enfermé dans un étui de verre. Par ce moyen, l'instrument n'est affecté que de l'impression de la lumière, qui traverse l'étui et agit, par voie d'absorption, sur la boule noire. Quand le miroir concave étoit à 10 pieds du feu de charbon, le photomètre marquoit 50 degrés, tandis que le simple thermomètre différentiel marquoit 37. Mais quand le miroir fut éloigné jusqu'à la distance de 30 pieds du feu, le photomètre s'éleva à 78 degrés, tandis que le thermomètre différentiel descendit à 21. J'ai remarqué ci-dessus que les intensités, correspondant à ces deux différens foyers, devoient être dans le rapport de 5 à 8. Ce rapport donneroit 80, au lieu de 78, pour l'effet sur le photomètre à la distance de 30 pieds. Cet accord est aussi grand que l'on peut raisonnablement l'attendre dans des expériences de cette nature. On remarque un contraste bien frappant entre la réflexion de la lumière et celle de la chaleur. »

Essai d'explication.

§. 178. Ces expériences, fondées sur un

théorême d'optique élégant et ingénieux, sont sans doute fort belles et déduites avec beaucoup d'art. Elles prouvent clairement quelque déperdition de calorique. Mais l'expérience photométrique prouve de son côté que l'émanation calorifique, connue sous le nom de lumière, n'éprouve aucune déperdition sensible. Ne pourroit-on pas en conséquence présumer que le calorique n'est pas homogène? Cette nouvelle détermination paroît indiquée ici; et si aucun fait ne la contredit, elle pourroit s'énoncer ainsi :

Le calorique est composé de deux espèces de particules, les unes plus grossières et les autres plus subtiles.

Quoique cet énoncé ne suppose que des particules de deux espèces, je serois porté à croire qu'il y en a de plusieurs espèces. Mais avec deux, le sujet est déjà compliqué; et peut-être ce nombre suffira-t-il à faire entrevoir l'explication du phénomène que nous avons sous les yeux. Le calorique subtil, comparable à la lumière, traverse librement l'air, peut-être même quelques autres corps. Le calorique grossier est sujet à être intercepté par l'air, et même en assez grande quantité.

Soient ces deux caloriques g (le grossier), s (le subtil). Après avoir traversé une couche

d'air, d'épaisseur donnée, soit transmise la partie $\frac{1}{t}$ du calorique grossier; la transmission totale, et par conséquent l'effet, sera donc $\frac{g}{t}+s$; et pour deux couches pareilles $\left(\frac{g}{t}\right)^2+s$; et pour trois couches, $\left(\frac{g}{t}\right)^3+s$; etc.

Maintenant la condition expérimentale est que l'effet soit toujours inversement proportionnel à la distance, ou au nombre des couches d'air. Ainsi, n étant le nombre des couches, il faut que $\left(\frac{g}{t}\right)^n+s$ soit proportionnel à $\frac{1}{n}$.

Traitons le cas pour les deux premières couches; on trouvera $s=\frac{g}{t}-\frac{2g^2}{t^2}$. Prenant arbitrairement g=3, t=10; on aura s=0'12. Et en employant cette quantité, il est facile de voir que la proportion observée aura lieu; car on aura $\frac{g}{t}+s$=0'42, et $\left(\frac{g}{t}\right)^2+s$=0'21.

Il est vrai qu'à la troisième couche, il y auroit un léger écart, qui croîtroit encore à la 4.me, etc. Mais on pourroit faire à ce sujet quelques remarques: 1.° L'auteur avoit résolu de ne pas aller au-delà d'une distance égale à douze fois la largeur du vase qu'il employoit (p. 194.); par conséquent il n'a point dû, dans l'expérience XV, passer la distance de 6 pieds *;

* On a vu que la largeur du vase étoit de 6 pouces (§. 177. Exp. XV.). L'exp. XVI va plus loin, mais la réflexion imparfaite du verre inspire moins de confiance.

et s'il a expérimenté sur la distance de 9 pieds, la boule focale n'a pas pu être plongée en entier dans le foyer *; en sorte que ce terme doit être rejeté. 2.° Il faudroit tenir compte, dans ce calcul, de l'interception opérée depuis le miroir au foyer; interception que l'auteur n'a pas fait entrer en ligne de compte, lorsqu'il a calculé la progression de décroissement, qu'occasionneroit l'obstacle constant de l'air au passage du calorique. Ainsi au lieu d'estimer, quant à l'interception des couches d'air, les distances par les nombres 3, 6, 9, il auroit plutôt convenu de les exprimer par ceux-ci, $3\frac{1}{2}$, $6\frac{1}{2}$, $9\frac{1}{2}$, ou à peu près.

Mais accordons que les distances soient telles que l'auteur les a comptées, et par conséquent dans le rapport des nombres 1, 2, 3. Et partons du principe que les effets ont été inversement comme les distances: pourvu que l'on n'exige pas une exactitude plus rigoureuse que n'en comporte ce genre d'expériences, on trouvera facilement des rapports entre les nombres g, s, t, qui satisferont à l'observation dans des limites bien plus étendues que celles que requièrent les expériences que nous discutons.

---

* Ibid. p. 194.

1.er *Exemple.* Soit $g=29$, $s=3$, $\frac{g}{t}=\frac{5}{8}$.

Les transmissions seront à peu près proportionnelles inversement au nombre des couches d'air interposées, et par conséquent aux distances, depuis 1 jusqu'à 4. En effet, on aura en ce cas les quantités

$$\frac{g}{t}+s,\ \left(\frac{g}{t}\right)^2+s,\ \left(\frac{g}{t}\right)^3+s,\ \left(\frac{g}{t}\right)^4+s$$

proportionnelles respectivement à

	30,	15,	$9\frac{3}{8}$,	$7\frac{17}{64}$
au lieu de	30,	15,	10,	$7\frac{1}{2}$

2.d *Exemple.* Soit $g=\frac{8}{9}$, $s=\frac{1}{9}$, $\frac{g}{t}=\frac{1}{3}$; les premier, second et troisième termes seront conformes à la loi, le quatrième terme n'en différera que de $\frac{1}{81}$ème.

3.e *Exemple.* Soit $g=\frac{44}{45}$, $s=\frac{4}{45}$, $\frac{g}{t}=\frac{4}{9}$; les premier, troisième et cinquième termes seront conformes à la loi. Le second et le quatrième s'en éloigneront peu.

4.e *Exemple.* Soit $g=\frac{8}{9}$, $s=\frac{1}{9}$, $\frac{g}{t}=\frac{4}{7}$; les second, quatrième et sixième termes sont conformes à la loi.

5.e *Exemple.* Soit $g=\frac{10}{11}$, $s=\frac{1}{11}$, $\frac{g}{t}=\frac{5}{11}$. On trouve les cinq premiers termes assez conformes à la loi.

6.e *Exemple.* Soit $g=\frac{11}{12}$, $s=\frac{1}{12}$, $\frac{g}{t}=\frac{1}{2}$; les

sept premiers termes seront comme les nombres

224, 128, 80, 56, 44, 38, 35,

au lieu d'être comme ceux-ci,

224, 112, $74\frac{2}{3}$, 56, $44\frac{4}{5}$, $37\frac{1}{3}$, 32. *

Ces exemples font voir que l'on peut approcher beaucoup de la loi observée, même en supposant que l'on prend des distances très-variées, tandis que les expériences faites jusqu'ici, et à nous connues, n'établissent la loi que pour trois distances dont le rapport est 1, 2, 3 (ou plutôt $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$). Il est facile de voir aussi que si l'on supposoit trois espèces de caloriques; un grossier, un subtil et un moyen, on approcheroit encore davantage de la loi supposée.

Malgré cette facilité d'expliquer le phénomène par des suppositions, je ne m'en sens par très-satisfait. Si la loi inverse des distances, qui s'est manifestée dans deux ou trois distances comparées, se montroit constante par de nouvelles expériences; il y auroit là une détermination bien particulière, dont on auroit quelque lieu d'être surpris. Je reste donc convaincu que l'effet observé est produit par quelque déperdition de calorique. Cette déperdi-

* Quelques-uns de ces exemples m'ont été fournis par mon savant collégue Mr. le prof.r Lhuilier.

tion me paroît devoir dépendre essentiellement de l'interception par l'air. Et en ce cas la distinction de deux ou plusieurs espèces de caloriques me paroît naturelle. Mais il peut y avoir d'autres causes de déperdition ou d'écart et d'aberration *.

EXPÉRIENCE XVII.

§. 179. « Employant toujours le même étalon que ci-devant, un vase cubique de 3 pouces en carré, présenté de front au miroir par sa face noircie, à la distance de 3 pieds, produit un effet de 50 degrés. Un vase cubique de 4 pouces en carré, à la distance de 4 pieds, en a produit un de 54 degrés. Un vase cubique de 6 pouces en carré, à la distance de 6 pieds en a produit un de 57 degrés. Un vase cubique de 10 pouces en carré, à la distance de 10 pieds, en a produit un de 59 degrés.

* En particulier, il ne faut pas oublier de remarquer que chaque couche d'air, qui opère une interception, s'échauffe et commence à rayonner. Il faut aussi peut-être avoir égard à l'effet de la conductibilité, ou des petits courans d'air, qui peuvent se mêler au rayonnement, et compliquer le cas. Peut-être enfin la détermination qui va être introduite (§. 180), à la suite de l'expérience suivante, pourroit-elle s'appliquer au fait que je viens de discuter.

Ces quantités sont presque égales. Mais si on y applique la correction requise pour la différence des longueurs focales, l'identité, qui nous frappe du premier abord, deviendra encore bien plus apparente. Les longueurs focales, correspondant aux distances 3, 4, 6, 10 pieds, sont respectivement 5'81, 5'58, 5'37, 5'22 pouces. Les carrés de ces nombres sont 33'8, 31'1, 28'9, 27'3. Réduisant donc proportionnellement les nombres donnés par l'expérience, les effets corrigés pour les distances 4, 6, 10 pieds seront respectivement 51, 49, 48. Les petites différences qu'offrent ces résultats sont probablement dues à l'imperfection de l'expérience, qui n'a été répétée qu'une fois. »

Essai d'explication.

§. 180. L'auteur fait sur la lumière une remarque qui peut trouver ici son application *. Il dit que les corps lumineux sont composés de points qui ne rayonnent pas également en tout sens, mais beaucoup plus abondamment selon la direction perpendiculaire à la surface lumineuse. Et il le prouve par ce raisonnement :

« Si une surface brillante, placée à une grande

* C'est à la fin du chap. X. p. 185. de l'*Exp. Inquiry*.

distance, se présente à l'œil sous différens degrés d'obliquité; son éclat ne laissera pas d'être le même. Cependant si les rayons étoient également abondans en toute direction, le degré d'intensité de l'éclairement devroit aller en croissant à mesure que l'on place la surface dans une position plus oblique, puisque l'œil reçoit toujours la même quantité de lumière, tandis que la grandeur optique diminue par l'obliquité. L'éclat d'une surface lumineuse seroit en raison inverse du cosinus de son inclinaison, ou comme la sécante de cet angle. Il arriveroit de là qu'un boulet rouge paroîtroit plus sombre au centre et fort brillant sur ses bords. Mais cela n'a pas lieu; car à une grande distance le boulet ne se distingue pas d'un simple disque lumineux. Il suit de là que la lumière est émise avec moins d'abondance dans les directions obliques, et que la densité des rayons est à peu près comme le cosinus de leur déviation de la perpendiculaire *.»

* On ne peut s'empêcher de remarquer ici que cette opinion de Mr. Leslie mérite toute l'attention des physiciens. Si elle venoit à se confirmer elle auroit des conséquences importantes. Elle tendroit, par exemple, à modifier l'un des argumens par lesquels les astronomes établissent l'existence d'une atmosphère très-épaisse autour du soleil. Voyez *Système du monde* par Laplace, 3.e édition, 1808. L. I. c. II. p. 13.

Voilà une analogie dont on peut faire l'application au calorique rayonnant. Et en effet des expériences que nous rapporterons portent à croire que l'émission du calorique est assujettie à la même loi (§. 184.).

Si tout le calorique étoit émis perpendiculairement à la surface qui l'émet, 1.° à même distance, l'effet du vase sur la boule focale devroit, comme dans la supposition commune, se proportionner exactement à la grandeur de la face tournée de front contre le miroir. 2.° La distance du vase au miroir ne produiroit aucun changement dans l'effet, si ce n'est en tant que l'air, ou toute autre cause, feroit obstacle à l'émission.

Mais on a cru voir, dans les expériences précédentes, que l'obstacle produisant la déperdition étoit en raison de la distance du vase au miroir, ou en d'autres termes, que la quantité de calorique transmise étoit inversement comme la distance du vase au miroir (§§. 177. 178.).

Afin donc d'obtenir l'égalité à toute distance, dans le cas du perpendicularisme, il faudroit que les faces d'où émane le calorique fussent proportionnelles à leurs distances du miroir.

Au lieu de cela l'égalité d'effet a lieu, les faces étant proportionnelles aux carrés de ces mêmes distances.

On en peut conclure, que la totalité de l'émission n'est pas perpendiculaire à la face.

D'un autre côté, si le rayonnement s'exécutoit par chaque point chaud également en tout sens, la loi de diminution de l'effet par la distance (abstraction faite de l'obstacle de l'air et de toute autre cause de déperdition ou d'irrégularité) seroit celle de l'inverse du carré. Cette loi se combinant avec l'obstacle ou la cause de déperdition, qui donne à peu près l'inverse de la distance, produiroit un effet diminué selon le cube des distances. Mais l'expérience prouve que la diminution suit la loi du carré. On peut donc en conclure que le rayonnement n'est pas le même en tout sens; et qu'il est plus abondant selon la direction perpendiculaire à la surface qui émet le calorique.

De la combinaison de ces deux résultats on tire cette conséquence, que le calorique (tout comme la lumière) émane en plus grande abondance selon la direction perpendiculaire à la surface qui l'émet; mais que cependant il émane plus ou moins en toute direction. Peut-être en supposant la loi que l'auteur a déterminée pour la lumière *, trouveroit-on précisément,

* Cette loi est que la densité des rayons est à peu

que

que la distance ne doit produire qu'une diminution simplement proportionnelle ; si cela étoit, cette fonction de la distance, se composant avec celle qui dépend de l'obstacle de l'air, et qui est la même, produiroit en tout la loi du carré, laquelle se vérifie dans l'expérience.

Cette explication doit probablement se combiner avec celle de l'auteur, que l'on comprendra mieux, lorsqu'on connoîtra les expériences qui l'étaient.

EXPÉRIENCE XVIII.

§. 181. « Le vase cubique de six pouces fut posé de manière à présenter de front au miroir sa face noircie, à la distance accoutumée de trois pieds, le thermomètre différentiel étant en place. A la même hauteur que le milieu du vase, on fit promener lentement le long de sa surface la flamme d'une petite bougie ; et l'on observoit en même tems la marche de l'image réfléchie. Dès que la flamme s'éloigna de l'axe du miroir d'une quantité égale à deux pouces ; l'image lumineuse cessa d'atteindre la boule focale. Telle est donc la limite du foyer

---

près comme le cosinus de leur déviation de la perpendiculaire. Voyez ci-dessus, au commencement de ce §. 180, p. 206 ; voyez aussi §. 184, p. 219.

optique. Mais l'action de la chaleur s'étendoit beaucoup plus loin. En déplaçant le vase et le mettant sur la table en différentes positions, de manière que sa face fût toujours perpendiculaire à l'axe du miroir, son effet se faisoit constamment sentir au thermomètre différentiel, quoiqu'avec une énergie décroissante; et l'impression ne cessa d'être distinctement perceptible, que lorsque le vase eut été tiré de côté jusqu'à la distance de 7 à 8 pouces. Au premier pouce de déplacement, l'action ne subissoit aucune diminution. Au second, elle perdoit quelque chose. Ensuite elle diminuoit rapidement. Les nombres étoient à peu près ceux-ci: »

Position.	*Force d'échauffement.*
Sur l'axe.	100
A 1 pouce.	100
2 pouces	83
3	58
4	33
5	16
6	4
7	1

Remarque.

§. 182. Mr. Leslie explique ce phénomène et celui qui s'est manifesté dans l'expérience précédente par une aberration de réflexion.

Si l'on se représente un petit faisceau cylindrique de rayons calorifiques atteignant un seul point physique d'une surface réfléchissante ; l'axe du faisceau sera réfléchi sous la loi connue ; mais autour de ce rayon régulièrement réfléchi, les autres s'entr'écarteront un peu ; en sorte qu'il se formera comme un cône ou pinceau de rayons réfléchis, dont l'écart pourra bien aller pour quelques-uns à 10 ou 15 degrés ; mais que, par une moyenne, on peut estimer de 5 degrés. Il résultera de cette circonstance deux espèces de foyer, l'un pareil au foyer optique, est formé par tous les rayons régulièrement réfléchis ; l'autre entoure celui-ci, étant plus grand et plus vague. Cette supposition explique d'abord nettement comment le vase cubique peut être écarté de l'axe jusqu'à 7 pouces sans cesser d'affecter la boule focale, tandis que la flamme d'une bougie n'y a plus son image à la distance de deux pouces. On comprend aussi que cet élargissement du foyer doit influer sur l'effet de la distance du vase au miroir. C'est comme une quantité constante à ajouter à celle que l'on calcule.

§. 183. Mr. Leslie fait remarquer une conséquence de cette aberration. A supposer qu'elle se fasse en tout sens également, il n'est pas difficile de voir qu'elle tend à rapprocher

du miroir le point de la plus forte chaleur. En effet, le pinceau réfléchi par un point venant à couper l'axe, il arrive qu'en deçà du foyer, les rayons sont plus condensés sur la section, qu'ils ne le sont en delà. Cette conséquence de théorie se trouve confirmée par l'observation; ce qui donne beaucoup de poids à la conjecture d'où elle est déduite.

« Si l'on place le thermomètre différentiel un demi-pouce plus près du miroir que le vrai foyer, l'effet est augmenté de plus d'un tiers; si on l'en rapproche d'un autre demi-pouce, l'effet est moindre qu'au premier rapprochement; mais il surpasse encore d'un quart celui qui avoit lieu au vrai foyer. Au contraire si l'on place le thermomètre plus loin du miroir que le vrai foyer, l'impression diminue rapidement; et à un pouce du foyer, elle n'est pas la septième partie de ce qu'elle étoit au vrai foyer. Un seul exemple suffira.

Expérience XIX.

Le vase cubique de six pouces fut placé à six pieds du miroir, et le thermomètre différentiel fut mis exactement au foyer optique. L'effet fut de 58 degrés. Un demi-pouce plus près du miroir, le thermomètre s'éleva à 80 degrés; et un pouce plus

près, il marquoit encore 70 degrés. Mais si on le faisoit mouvoir dans l'autre sens, et qu'on le plaçât un demi-pouce plus loin du miroir que le foyer optique, l'action n'étoit plus que de 20 degrés; et un pouce au-delà, le thermomètre tomba à 8 degrés. »

§. 184. J'ai dit ci-dessus (§. 180.) qu'il paroissoit, par quelques expériences de Mr. Leslie, que le calorique émanoit avec plus d'abondance selon la direction perpendiculaire à la surface qui l'émet, que selon toute autre direction. Voici les expériences qui rendent ce fait probable.

EXPÉRIENCE XX.

« Placez le vase à une distance du miroir, qui ne soit pas moindre que dix fois sa largeur; et disposez l'appareil comme de coutume. Dans cette position l'action de toute la face noircie sera concentrée sur la boule focale. Tournez la face du vase de manière à la rendre de plus en plus oblique, en conservant toutefois son centre constamment à la même place. L'effet correspondant à ces situations de plus en plus obliques, ira de plus en plus en diminuant; d'abord graduellement, et ensuite d'une marche accélérée.

Ainsi les impressions de chaleur et de froid se propagent à travers l'air, avec des degrés inégaux de diffusion. La force de ces impressions est évidemment plus grande dans la ligne perpendiculaire à la surface, et elle décroît régulièrement à mesure que la direction devient plus oblique. Il doit y avoir entre cette force et l'angle d'obliquité un certain rapport. L'expérience suivante tend à le déterminer.

EXPÉRIENCE XXI.

Ayez à votre disposition un écran d'étain, composé de deux feuilles qui se rapprochent et se ferment à volonté par une ligne verticale, et qui puissent s'ouvrir en laissant entr'elles une fente ou écartement, de la largeur dont on peut avoir besoin. Rangez vos appareils comme ci-devant, et placez l'écran un peu en avant du vase, parallèlement à sa face noircie. Ouvrez l'écran, en tirant également les deux feuilles, l'une d'un côté, l'autre de l'autre; et notez l'effet produit sur le thermomètre différentiel. Tournez ensuite le vase sur son centre, jusqu'à ce qu'il remplisse justement l'espace vide par derrière, ou en d'autres termes de manière que du bord du vase, il ne puisse passer à travers l'ouverture, aucune ligne qui atteigne directement la surface

du miroir. L'ouverture de l'écran étant successivement diminuée, le vase prendra une situation de plus en plus oblique. Dans tous les cas, l'impression faite sur la boule focale dépendra de la grandeur de l'ouverture, et sera à peu près la même, soit que la face du vase demeure parallèle ou inclinée au plan de l'écran. A la vérité, lorsque l'obliquité devient très-considérable; on commence à apercevoir une légère diminution dans l'effet, qui s'élève rarement à sa dixième ou même à sa vingtième partie.

Dans cet exposé du fait, je me suis abstenu à dessein de donner les résultats numériques, parce que les réductions qu'ils exigent m'auroient nécessairement entraîné dans une discussion obscure et fastidieuse. Si le miroir étoit placé à une distance infinie, les lignes menées de la face noircie du vase au miroir pourroient passer pour parallèles. En conséquence, la partie de cette face dont l'influence se fait sentir, seroit exactement définie par deux plans perpendiculaires à l'écran et passant par les limites de l'ouverture. Mais ces bornes sont sensiblement étendues par l'angle que sous-tend le miroir. Quand la face du vase est parallèle à l'écran, il y a, en dehors des deux limites, une partie accessoire, une espèce de pénombre, marquée par des lignes menées des

bords du miroir. Cette partie enveloppée dans la pénombre produit un certain effet partiel. Quand le vase est dans une position oblique, la pénombre acquiert une largeur double, mais ne se trouve que d'un seul côté. Comme elle est un peu plus éloignée, et comme elle fait un angle plus aigu avec une ligne menée au milieu du miroir, l'impression accessoire qu'elle produit est évidemment diminuée. D'après l'examen de quelques faits particuliers, je suis porté à croire que cette diminution compense l'augmentation qui devroit naturellement résulter de l'augmentation d'étendue de la face rayonnante *. Nous pouvons donc conclure en général, que l'action éloignée d'une surface échauffée est équivalente à celle de sa projection orthographique, et doit être estimée par la grandeur visuelle de sa source. Il suit de là qu'un vase de forme prismatique, ayant son angle aigu tourné vers le miroir, produira la même impression sur la boule focale, que si, changeant de position, il présentoit au miroir l'une de ses faces. Je n'en ai pas fait l'expérience, mais j'en ai fait une autre qui à quelques égards offre plus

* L'auteur dit simplement : « Je suis disposé à compenser ce » déficit par ce que j'ai remarqué ci-dessus. » *P. P. p.*

d'avantages, puisqu'elle montre l'effet combiné de toutes les inclinaisons possibles d'une telle face.

EXPÉRIENCE XXII.

A la distance de cinq pieds, je plaçai de front devant le miroir un vase cylindrique de 6 pouces de diamètre et d'autant en hauteur, ayant sa surface antérieure peinte en noire de fumée. L'effet sur le thermomètre différentiel fut noté; et après avoir enlevé ce vase cylindrique, un autre vase, de forme cubique et de mêmes dimensions, fut mis à sa place, ou plutôt à peu près un pouce plus loin. Le même effet continua d'être produit.

Les divers degrés de force, correspondant aux diverses inclinaisons de la surface échauffée, peuvent être aussi recherchés d'une manière un peu différente, et qui rend inutile l'emploi des écrans. Il ne sera pas hors de propos de faire connoître ce procédé.

EXPÉRIENCE XXIII.

Après avoir peint une face d'un vase cubique et avoir rafraîchi l'éclat métallique des autres faces; placez-le à une distance convenable du miroir, et arrangez vos appareils. Tournez la face noircie successivement autour de son centre; et à chaque in-

tervalle, marquez l'impression faite sur la boule focale. Vous obtiendrez de la sorte les effets approchés, correspondant à divers degrés d'obliquité. Mais ils excéderont toujours les vraies valeurs; car les faces métalliques adjacentes du vase mêleront, en conséquence de l'aberration, leur influence à l'action principale. Pour découvrir l'erreur provenant de cette cause; à chaque station successive, tournez le vase sur son axe vertical, en lui faisant décrire précisément un quart de cercle, de manière que la place qu'occupoit la face noircie se trouve précisément remplie par la face brillante contiguë. Dans les deux cas, l'effet est également affecté par une face métallique latérale; et en soustrayant séparément les derniers résultats des premiers, la différence indiquera l'excès d'action de la face noircie sur la face brillante qui a pris sa place, par une même inclinaison sur l'axe du miroir. Augmentez donc les derniers nombres d'une septième partie, et vous aurez la mesure absolue de l'effet correspondant à diverses obliquités *.

* Cette dernière phrase me paroît exiger un commentaire. Si l'on part de la supposition suggérée par les expériences précédentes, savoir que, sous un angle quelconque d'inclinaison, une surface échauffée produit le même effet que produiroit une surface pa-

Toutes les précédentes recherches concourent à établir cette simple proposition : *L'action d'une surface échauffée est proportionnelle au sinus de son inclinaison.*

Il résulte de là diverses conséquences intéressantes, que je ne m'arrêterai pas à développer. Je remarquerai seulement que lorsque la face du vase est placée de front ou perpendiculairement à l'axe du miroir; l'action de cette face est précisément double de ce qu'elle auroit été si la loi de radiation uniforme avoit lieu. Car dans cette dernière supposition, les forces agissantes seroient également répandues sur la surface d'un hémisphère, au lieu de l'être sur sa projection orthographique. Or on sait que la surface d'un hémisphère est double de celle de sa base.

---

reille coupant à angles droits l'axe du réflecteur, mais réduite dans le rapport du rayon au sinus d'inclinaison ; on peut rapporter aisément l'effet produit par les deux faces inclinées, dont l'une seulement est noircie, à l'effet qui seroit produit par une seule face plane perpendiculaire à l'axe du miroir. Cette face plane offriroit deux parties, l'une constamment métallique, dont j'exprime l'effet par a ; et l'autre, d'abord noircie, puis métallique. Soit b l'effet de celle-ci sous une inclinaison donnée ; on sait, par les premières expériences, qu'en ce cas l'effet de la face noircie sera $8b$. Donc l'effet total est avec la face noircie et avec la face métallique respectivement, $a+8b$, et $a+b$. Soustrayant, on a le reste $7b$; auquel ajoutant $\frac{1}{7}$ de lui-même, on retrouve $8b$, qui est bien en effet l'expression de l'effet de la face noircie sous l'inclinaison donnée. *P. P. p.*

Le même principe est confirmé par les expériences dans lesquelles on place un écran de papier devant le vase à diverses distances. J'en ai déjà fait connoître les résultats. On a vu que l'écran n'y est pas purement passif, mais qu'il y joue un rôle actif. Il agit proprement comme un vase secondaire, avec une force proportionnée à la température qu'il acquiert par son approche de la source primaire de chaleur. Pour déterminer la chaleur communiquée par le vase à l'écran, la plus haute géométrie devient nécessaire; mais sous certaines limitations, le problème est susceptible, à l'aide des données précédentes, d'une solution assez simple. Dans tous les cas, la chaleur ainsi communiquée est comme le carré du sinus de l'angle sous-tendu, au centre de l'écran, par le demi-diamètre, ou par la moitié de la largeur du vase. Ainsi, en supposant qu'on emploie toujours le même vase, cette chaleur peut être estimée par la raison inverse de la distance du milieu de l'écran au bord du vase. Par conséquent, les différens degrés de chaleur que le côté noirci d'un vase de dix pouces carrés, peut communiquer à un écran aux distances successives de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 20 pouces, sont exprimées respectivement par les fractions suivantes; $\frac{1}{26}$, $\frac{1}{29}$, $\frac{1}{34}$ $\frac{1}{41}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{61}$, $\frac{1}{74}$, $\frac{1}{89}$,

$\frac{1}{106}$, $\frac{1}{125}$, $\frac{1}{425}$. La progression décroît d'abord fort lentement, mais dans les termes éloignés, elle approche constamment de la raison doublée de la distance.

EXPÉRIENCE XXIV.

Je plaçai le vase de dix pouces à la distance de $7\frac{1}{2}$ pieds du miroir * et j'arrangeai avec soin tout l'appareil. Je mis ensuite, devant la face noircie, un écran de papier de 16 pouces, présenté de front, aux distances successives de 1, 2, 5, 10 et 20 pouces, en observant de laisser écouler 10 ou 15 minutes à chaque déplacement. Les effets correspondans observés sur la boule focale, en comptant pour 100 degrés l'impression totale qui a lieu sans écran, furent 32, 28, 18, 8, et 3.

D'après la théorie, ces nombres devroient être proportionnels aux fractions $\frac{1}{26}$, $\frac{1}{29}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{125}$, et $\frac{1}{425}$. Ces fractions donnent la suite 32, $28\frac{5}{4}$, $16\frac{1}{2}$, $6\frac{1}{2}$ et 2. Cette suite s'accorde fort bien avec la suite observée. Mais cet accord sera encore plus parfait, si l'on fait usage de la correction requise. L'action de l'écran sur le miroir est augmentée, proportionnellement à

* L'original dit : *à la distance de* $7\frac{1}{2}$ *pieds du vase*, par une erreur typographique manifeste. *P. P. p.*

la quantité dont il en est rapproché. Par conséquent, dans le cas présent, quand l'écran est à cinq pouces du vase, il y a une addition à faire de $\frac{1}{17}$; à dix pouces, de $\frac{1}{6}$; et à vingt pouces, de $\frac{2}{7}$. Les nombres corrigés sont 32, $29\frac{1}{4}$, $17\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{4}$, et $2\frac{1}{3}$. »

Remarque.

§. 185. Il y a apparence que le calorique est réfléchi par une cause comparable à celle qui opère la réflexion de la lumière. Il est donc probable que cette réflexion est l'effet d'une force répulsive perpendiculaire à la surface du corps qui réfléchit. Lorsqu'il y a émission de la lumière ou du calorique, ne pourroit-on point supposer que, malgré les aspérités du corps qui émet, cette même force perpendiculaire au plan général de sa surface agit efficacement? N'est-il pas probable au contraire que la force de la sphère attractive, qui est plus rapprochée du corps, n'affecte aucune direction particulière et agit autour de chaque particule de calorique selon sa position? Cela étant admis, suivons les élémens du calorique émis. Après s'être dérobés à la sphère attractive, ils pénètrent dans la répulsive par toutes sortes de directions variées. Chaque point de la surface qui émet est donc à cet ins-

tant comme le centre d'un hémisphère de rayons à peu près uniformément distribués. Mais la force répulsive se combinant avec le mouvement d'émission tend à les rejeter dans la direction perpendiculaire au plan, ou en général à diminuer l'obliquité de leur direction. Cette application d'un principe connu, et fort généralement admis pour la lumière, pourroit-elle servir à expliquer la loi (exacte ou approchée) que les expériences précédentes semblent attester pour un fluide plus grossier ?

CHAPITRE VI.

Sur la loi du refroidissement et de l'échauffement.

§. 186. Mr. Leslie fait une suite d'expériences pour découvrir comment les émissions calorifiques dépendent de la nature du corps qui émet, du poli de sa surface, de son épaisseur, de sa dureté, de sa couleur. Je ne suis pas appelé à suivre ce détail, qui est en grande partie lié à des circonstances étrangères à la théorie du calorique rayonnant *.

* Des expériences de cette nature ont été d'ailleurs entreprises par Mr. Biot, (et par conséquent avec un

Une nouvelle classe d'expériences, liées à cette théorie, se présente à la suite de celles-ci. Ces expériences sont celles où il s'agit du tems employé par un corps pour atteindre la température du milieu dans lequel il est plongé. On se souvient que la loi, que nous avons déterminée (§. 40.), porte que, les tems croissant en progression arithmétique, la température suit dans son changement une progression géométrique. On a vu que le C. de Rumford a adopté cette loi (§. 41.). Mr. Leslie l'adopte aussi. C'est d'après cette loi, qu'il conclut la quantité de changement qui s'est opérée dans un petit tems donné. Il lui suffit pour cela, de savoir le tems que le corps a employé à atteindre la moitié de l'intervalle entre sa température et celle du milieu. Suivons ce procédé.

§. 187. « Si un corps échauffé perd chaque minute la centième partie de sa chaleur, ou plutôt la centième partie de l'excès de sa température sur celle de l'atmosphère qui l'entoure; à la fin de la première minute, il contiendra encore les $\frac{99}{100}$èmes du tout;

---

nouveau degré de précision et de sagacité), comme étant des conséquences de ses savantes et ingénieuses recherches sur la propagation de la chaleur. Voyez Bibl. brit. T. XXVII. p. 325.

à

à la fin de la deuxième minute, les $\frac{99}{100}$èmes de cette partie restante ou les $(\frac{99}{100})^2$ du tout; à la fin de la troisième minute, les $(\frac{99}{100})^3$ seulement; et ainsi de suite, en suivant progressivement les puissances de la fraction radicale. Par conséquent, le tems écoulé, ou l'intervalle entre deux termes quelconques de cette progression est toujours proportionnel à la différence de leurs exposans, ou à celle de leurs logarithmes. Si, dans l'exemple que je viens de donner, le corps avoit continué de décharger sa chaleur avec la même profusion qu'au commencement; la totalité auroit été dépensée dans l'espace de 100 minutes. Ce nombre est inversement comme $\frac{1}{100}$, qui exprime le *taux* du refroidissement. Je l'appellerai *le tems du refroidissement arithmétique* *. Si le corps s'étoit refroidi deux fois aussi vite que nous venons de le supposer; sa température, après le laps de chaque minute successive, auroit été représentée par la suite $\frac{49}{50}$, $(\frac{49}{50})^2$, $(\frac{49}{50})^3$, etc. Mais s'il s'étoit refroidi uniformément au taux exprimé par le premier terme de cette suite, la température baissant successivement selon les fractions $\frac{48}{50}$, $\frac{47}{50}$, $\frac{46}{50}$, etc., auroit atteint sa limite et rétabli l'équilibre en 50 minutes.

* Cette expression substituée au mot *range of cooling*, m'est suggérée par l'extrait de la *Bibl. brit.* T. XXIX. p. 95. *P. P. p.*

Ce dernier nombre exprime donc le tems du refroidissement arithmétique *. Ainsi le tems du refroidissement arithmétique est à l'intervalle de tems entre deux temperatures, comme l'unité est à la différence de leurs logarithmes correspondans sur l'échelle de Neper, ou comme 0.4342945, module du système, est à la différence de leurs logarithmes communs. Le nombre correspondant au logarithme du module (ou *le rapport modulaire*) est 2.7182818; dont l'inverse, savoir 0.3678794, doit exprimer la température à laquelle le corps arrivera pendant le tems du refroidissement arithmétique, c'est-à-dire pendant le tems qui auroit été requis pour dissiper toute sa chaleur, si sa température avoit baissé selon une progression arithmétique. Il suit de là, qu'après ce tems écoulé il reste encore au corps plus d'un tiers de sa chaleur; savoir $\frac{71}{193}$, ou plus exactement $\frac{2073}{5635}$ **. Ceci suggère une méthode facile de découvrir immédiatement et sans calcul le taux du refroidissement. Il suffit pour cela de saisir,

* On peut définir plus simplement le tems du refroidissement arithmétique, le dénominateur d'une fraction qui a pour numérateur l'unité, et qui exprime le taux du refroidissement en une minute. *P. P. p.*

** L'auteur avertit que ces fractions approchées, sont déduites de la conversion du rapport modulaire par la méthode des fractions continues. *P. P. p.*

dans la série des observations du refroidissement réel, l'instant ou les $\frac{71}{195}$èmes de l'excès de température sont dissipés. Le tems écoulé depuis le commencement de l'expérience jusqu'à cet instant, sera celui pendant lequel le corps auroit perdu toute sa chaleur, si celle-ci l'eût abandonné simplement en progression arithmétique *. Mais il est plus facile encore et plus abrégé de déduire l'énergie frigorifique, du tems écoulé depuis l'origine jusqu'à l'instant où le corps a perdu précisément *la moitié* de son excès de température: on peut obtenir cette donnée de l'observation, ou d'un calcul facile par les logarithmes.»

§. 188. Ici l'auteur fait remarquer qu'un refroidissement allant en progression géométrique n'opéreroit jamais un parfait rétablissement d'équilibre; mais cette difficulté, comme il l'observe, ne doit pas nous arrêter, parce qu'il s'agit d'équilibre sensible et non rigoureux. Ce n'est qu'un cas particulier d'une règle générale, qui porte que, dans les applications du calcul à la physique, il y a des bornes que le calcul seul n'atteint pas. Il ne seroit pas au

* J'ajoute, d'après l'extrait de la *Bibl. brit.*, cette phrase qui n'est pas dans l'original, et qu'il auroit été facile peut-être de suppléer. *P. P. p.*

reste bien difficile de déterminer ces limites, au moins d'une manière approchée.

§. 189. Une seconde remarque de l'auteur a plus d'importance. Elle est conçue en ces termes :

« Les résultats précédens supposent l'exacte vérité de ce principe fondamental, que les décroissemens de la chaleur sont constamment proportionnels aux températures correspondantes. Cela est certainement vrai dans la communication de la chaleur entre les corps solides, et dans sa dispersion au travers de l'air *. Pour savoir si cela est également vrai dans tous les cas, il faut une recherche patiente. Si l'énergie frigorifique se montre variable, il deviendra nécessaire d'observer les variations de température à de courts intervalles. Selon les circonstances, j'ai noté les quantités plus ou moins souvent : à chaque deux minutes peut-être, ou seulement après l'espace d'une heure.

Ces remarques posées, je reprends la recherche expérimentale.

---

* L'auteur, faisant allusion à une hypothèse, s'exprime ainsi : *dans sa dispersion par le véhicule des pulsations aériennes.* P. P. p.

EXPÉRIENCE XLIII.

Dans une chambre fermée et sans feu, je mis sur un léger support de métal un globe creux d'étain * plané. Ce globe avoit quatre pouces de diamètre, il portoit un col étroit, et reposoit sur le bord aigu du support. Je le remplis d'eau chaude, et j'y plongeai un thermomètre. L'air de la chambre étoit parfaitement tranquille, et à la température de 15 degrés centigrades. Je notai soigneusement le progrès du refroidissement de ce globe. Depuis l'instant où il étoit à 55° jusqu'à celui où il fut à 25° (d'après l'indication du thermomètre intérieur), il s'écoula 156 minutes. Je peignis ensuite la surface du globe et le revêtis d'une couche de noir de fumée. Après quoi, je le remplis de nouveau d'eau chaude, et je répétai scrupuleusement l'expérience. Le même effet fut alors produit, ou la moitié de la chaleur fut dépensée, en 81 minutes seulement.

Augmentant ces résultats dans le rapport du logarithme de 2 au module du système, ou de 70

* Peut-être de fer-blanc; car le mot anglois *tin* a souvent ce sens. Cela est du reste indifférent au résultat, puisqu'il ne s'agit que de l'action de la surface extérieure, blanche et polie. *P. P. p.*

à 101, nous en conclurons le tems du refroidissement arithmétique, ou le tems dans lequel le globe auroit dépensé toute sa chaleur, s'il avoit supporté constamment la même diminution qu'à la première minute. Ainsi avec la surface métallique, cette limite étoit 225 minutes; et avec la surface peinte, 117 minutes: en d'autres termes, la première doit avoir perdu à chaque minute $\frac{1}{225}$ème partie de son excès de chaleur, et la seconde n'en doit avoir perdu que $\frac{1}{117}$ème. Mais si la chaleur étoit enlevée par le seul effet du rayonnement à travers l'air *; la surface métallique devroit se refroidir huit fois plus lentement que la surface peinte **; ou en d'autres termes, elle devroit ne dépenser, par minute, que $\frac{1}{936}$ème partie de son excès de chaleur. Le taux du refroidissement de cette face métallique est plus de quatre fois aussi grand. Donc il faut que quelque autre cause se soit jointe à celle-là, pour accélérer la dissipation de la chaleur.

---

* L'auteur dit systématiquement : « par la seule action des » pulsations aériennes. » J'ai substitué le mot rayonnement. *P. P. p.*

** Cette assertion se fonde sur le résultat de l'expérience II. (§. 146.). *P. P. p.*

Remarque 1.

§. 190. La cause accessoire de refroidissement, que l'auteur a en vue, est un courant d'air produit par la chaleur même du globe mis en expérience. Pour vérifier l'action de cette cause, il commence par estimer le refroidissement que le vent produit, et fait ensuite l'application de cette détermination au cas actuel. Cette cause paroît probable. Elle est différente du rayonnement; les particules de l'air, s'appliquant successivement aux parois du globe, emportent le calorique par voie de conductibilité. Cet effet sortant de la théorie du rayonnement, je n'en suis pas la discussion.

Remarque 2.

§. 191. Pourroit-on ajouter à cette cause l'influence de quelque autre circonstance? Dans l'expérience, où le taux du refroidissement avec la surface métallique a paru à peu près la moitié de celui qui avoit lieu avec une surface noircie, le thermomètre étoit plongé dans l'eau. Dans l'expérience, où ce taux de refroidissement a paru une huitième partie, le thermomètre étoit exposé à l'air. Il résulte de là

que, dans cette dernière position, le thermomètre a dû réfléchir quelque partie du calorique qui lui a été envoyé, et qu'il a dû rayonner à mesure qu'il s'est échauffé; deux circonstances étrangères au thermomètre plongé dans l'eau (§§. 176. 177.). Cependant cette réflexion et ce rayonnement, étant toujours proportionnels à l'échauffement, ne semblent pas devoir influer ici.

Si le calorique est composé de deux espèces de particules, les unes grossières, les autres subtiles (§. 178.); on pourroit croire, que l'une de ces espèces est plus réfléchie que l'autre, ou qu'elle rayonne plus par une même température. On pourroit supposer ensuite, que l'une de ces émanations est proportionnellement plus abondante que l'autre à diverses températures.

Mais je ne veux pas insister sur de simples hypothèses.

SECTION VIII.

Application de la théorie a quelques expériences relatives a l'eau que l'air dépose sur certains corps.

§. 192. Ces expériences sont de mon parent Bénédict Prevost. Et comme elles ont été publiées par extrait dans les Annales de chimie *, je ne puis mieux faire, quoique j'aie sous les yeux en manuscrit le mémoire entier, que de répéter ici cet extrait sans y rien changer d'essentiel. Je le ferai suivre des explications que la théorie en donne, et auxquelles j'ai d'autant plus de confiance qu'elles ont été pleinement adoptées par l'auteur de ces ingénieuses expériences, quoiqu'il eût d'abord formé là-dessus des conjectures fort différentes.

Je diviserai l'exposé de ces expériences en deux parties. La première contiendra les détails. Et la seconde le résumé, conçu dans les propres termes de l'extrait des Annales; par conséquent, tout-à-fait indépendant de toutes vues relatives à la théorie que j'ai dessein d'y appliquer.

* T. 44. p. 75.

CHAPITRE I.

Extrait détaillé des expériences.

§. 193. On sait qu'un vase de cristal se couvre quelquefois de rosée, au milieu d'un bassin d'argent, qui lui-même demeure sec, et que du mercure est épargné par la rosée au fond d'un plat de porcelaine, quoique les bords de ce plat en soient très-mouillés....

On concluoit assez généralement, de plusieurs expériences de ce genre, que le verre est la substance sur laquelle il se dépose le plus de rosée, et qu'il ne s'en dépose point sur les métaux.

Mr. Bénédict Prevost fut curieux de répéter ces expériences, qui ne lui paroissoient pas avoir été faites avec assez de précaution, afin de savoir jusqu'à quel point pouvoit être justifiée la conclusion qu'on en tire. Il a trouvé, en les répétant, des faits très-singuliers, dont nous allons donner les résultats généraux.

1. Des disques de feuilles d'étain, d'or, d'argent, de cuivre, etc. appliqués ou collés sur des glaces, et exposés à la rosée, se sont souvent trouvés aussi chargés d'humidité, que le verre même, sur lequel ils étoient placés; néanmoins, il arrive encore plus souvent qu'ils

demeurent secs, quoique le verre soit très-mouillé.

2. Dans ce cas, la propriété préservatrice du métal s'étend souvent tout autour à une distance considérable, de manière qu'au milieu de l'humidité, il se ménage une zone parfaitement sèche, et presque toujours bien tranchée. Mais ce qu'il y a de bien remarquable, c'est que quand la glace se trouve mouillée par-dessous, la glace correspondante au métal demeure sèche; de sorte que l'influence du métal agit au travers d'un verre de plusieurs millimètres d'épaisseur. On verra bientôt qu'elle s'étend beaucoup plus loin.

3. Le métal n'agit point ici comme abri, puisque si on le couvre de verre, il ne se passe plus rien de remarquable.

4. Ayant collé au haut d'un carreau de vitre exposé au nord, et sur la face intérieure, un rectangle métallique, et dans le bas du même carreau extérieurement, un pareil rectangle, l'auteur a observé que lorsque l'humidité survenoit intérieurement, comme il arrive souvent en hiver, le métal intérieur, loin de demeurer sec, étoit plus mouillé que le verre, tandis que la place correspondant au métal extérieur, ainsi qu'un cadre de plusieurs lignes tout autour, demeuroit parfaitement sec. Il faut cependant

remarquer, que dans le cadre, l'humidité s'approche beaucoup plus des angles, que du milieu des côtés du rectangle.

5. Dans le même arrangement, si l'humidité survient extérieurement (par refroidissement), c'est le métal extérieur qui demeure sec et la place correspondant au métal intérieur, est au contraire un peu plus mouillée que le reste du verre.

6. Lorsque l'humidité se forme en dedans et en dehors, ni le métal extérieur, ni la place intérieure correspondante ne sont mouillés.

7. Si l'on colle extérieurement sur le milieu de la place correspondant au rectangle intérieur, un rectangle plus petit, et qu'il survienne de l'humidité intérieurement, le rectangle intérieur n'est pas entièrement mouillé, comme il l'auroit été sans le rectangle extérieur; mais la place correspondant à ce dernier demeure sèche.

8. Si, sur le petit rectangle extérieur, on applique un disque de verre; il se forme intérieurement au milieu de la place sèche dont nous venons de parler, une tache ronde humide, correspondant à la place qu'occupe le verre extérieurement.

9. Si l'on substitue au disque un rectangle de verre de la grandeur du rectangle mé-

tallique extérieur, de manière que celui-ci en soit exactement couvert; l'humidité se répand sur toute la surface du rectangle intérieur, comme lorsqu'il n'y a rien derrière.

a. Si, sur ce rectangle de verre on applique un autre rectangle métallique; il ne produit plus de nouvelle humidité dans la place correspondante intérieure, quoiqu'il continue à s'en former du même côté, sur le reste du métal et du verre.

b. Mais l'humidité survient de nouveau, si, sur le dernier rectangle métallique, on applique un rectangle de verre.

c. Elle disparoît encore, ou cesse de survenir, par l'application d'une troisième feuille métallique.

d. Un troisième rectangle de verre la fait reparoître.

e. f. g., etc., etc.

Cependant il est un terme où le phénomène devient irrégulier; c'est lorsque l'épaisseur totale des feuilles métalliques et des plaques de verre arrive à 16 à 20 millimètres.

10. Quoiqu'il soit rigoureusement démontré, par les expériences précédentes, que le métal n'agit point comme abri dans la production de ces phénomènes, l'auteur le prouve encore de la manière suivante :

Il applique sur un carreau de vitre, des papiers dorés de même forme et grandeur, les uns par leur côté métallique, et les autres par celui qui est découvert, rendant d'ailleurs toutes les circonstances égales. Les seuls papiers dont la surface métallique est exposée à l'air produisent les effets des métaux, les autres n'en produisent aucun. Cette expérience, répétée avec des morceaux de glace étamée au lieu de papier doré, donne les mêmes résultats.

11. Si l'on place dans l'intérieur d'une chambre, et parallèlement à un carreau de vitre, un disque de métal de 6 à 7 centimètres de diamètre, de manière qu'il ne soit soutenu que par le milieu sur la vitre, et que le reste en soit écarté de quelques millimètres; lorsque l'humidité survient intérieurement, elle ne se dépose point sur le disque, à moins qu'il ne soit extrêmement près, mais sur le verre vis-à-vis, et en beaucoup plus grande quantité là qu'ailleurs.

12. Si l'on substitue, à ce disque de métal, un disque de verre; l'humidité ne s'accumule pas plus vis-à-vis que sur le reste du carreau.

13. Le phénomène inverse a lieu à l'extérieur dans des circonstances analogues.

14. Si l'on vernit le disque métallique (du n°. 11.) en-dessus, c'est-à-dire, du côté qui

regarde la partie de la chambre opposée à la fenêtre, le phénomène a lieu également.

15. Si on le vernit des deux côtés, ou seulement en dessous; il n'a plus lieu.

16. Ces propriétés des métaux appartiennent aussi aux autres substances conductrices de l'électricité ou anélectriques, mais avec quelques modifications, selon leur nature.

17. Si l'on substitue à un carreau de vitre une plaque de métal, il s'y produit quelquefois de l'humidité, mais toujours beaucoup moins que sur le verre.

18. Si cette plaque de métal est mince et plane, et qu'on colle derrière un disque de verre; l'humidité se produit plus tôt ou en plus grande abondance dans la place correspondante opposée intérieure.

19. Tous ces phénomènes ont lieu de la même manière, ou à peu près, lorsqu'on place sur de petits piquets peu élevés, des glaces, garnies de disques métalliques ou des autres appareils dont il a été question ci-dessus, au milieu d'une prairie, dont on a fauché et ratissé l'herbe. Alors la surface supérieure de la glace représente l'extérieur; et l'inférieure, l'intérieur de la chambre.

20. On provoque l'humidité intérieure, pourvu que le tems soit un peu froid, au

moyen de quelques brasiers, ou en répandant de l'eau sur des corps rouges de feu; et dans la campagne, pendant la sécheresse, en arrosant, après le coucher du soleil, l'aire sur laquelle on place les glaces.

21. Si l'on met dans des vases de verre bien égaux en tout, différens liquides, comme de l'eau, du mercure, de l'alcool, des huiles, des acides, etc., ou du menu plomb de chasse, jusqu'à moitié ou aux deux tiers de leur hauteur, et qu'on les expose à la rosée sur une fenêtre, il ne s'en déposera point sur le bas du vase, mais seulement au-dessus du niveau des matières qui y sont contenues, et à une distance qui varie selon la nature de ces substances, et qui est plus grande pour le mercure que pour l'eau, pour l'eau que pour l'huile, etc.

22. Dans tous ces phénomènes, lorsque l'humidité est trop abondante, tout se confond.

23. L'auteur a fait plusieurs recherches pour savoir si, parmi les métaux, quelques-uns sont plus propres que les autres à la production des phénomènes qu'il a observés. Ayant, par exemple, exposé à la rosée des planches de cuivre dorées et argentées, et des plaques d'argent, dorées dans la moitié d'une de leurs faces, il n'a rien observé de décisif. Seulement

il

il lui a paru qu'en général les gouttes se forment plus grosses sur les métaux blancs. Mais ces expériences de comparaison sont difficiles à faire, à cause de la susceptibilité de la plupart des métaux de s'oxider à l'air humide, ce qui leur donne alors plus ou moins la propriété du verre.

24. En faisant ces observations, Mr. Bénédict Prevost a presque toujours tenu compte des changemens survenus dans la température ou de la différence de la température intérieure à l'extérieure. Il a cherché à se procurer des thermomètres à réservoirs applatis, et assez sensibles pour indiquer la différence de la température des deux côtés de la glace dans le même instant; ce qui lui auroit donné, à ce qu'il croit, des résultats instructifs; mais il n'a pu encore y parvenir. Il se borne à faire remarquer qu'il n'est pas nécessaire, comme on le croit communément, que la température extérieure soit plus élevée que l'intérieure, pour qu'il se forme de l'humidité sur les vitres en dehors, et que le contraire a lieu très-souvent.

25. Ces recherches pourroient être poussées plus loin; par exemple, en faisant des expériences analogues dans le vide ou dans d'autres gaz que l'air, et en employant d'autres liquides que l'eau.

CHAPITRE II.

Résumé de ces Expériences.

§. 194. DANS l'intention de réduire à un petit nombre de propositions les principaux faits contenus dans son mémoire, Mr. Bénédict Prevost donne le nom d'*armure en contact* à une feuille métallique appliquée ou collée contre le verre, et celui d'*armure à distance* à celle qui en est éloignée de quelques millimètres. Cela posé, voici les faits généralisés *.

I. Lorsqu'une cloison de verre, qui sépare deux grandes masses d'air d'inégales températures, est armée en contact sur sa *face chaude* **.

A. S'il se dépose de l'humidité sur cette face; elle s'accumule sur l'armure, de sorte qu'il y en a plus là qu'ailleurs.

* Cette généralisation, donnée dans l'extrait inséré aux *Annales de Chimie*, est textuellement transcrite sur le mémoire original de Mr. Bénédict Prevost. Ainsi elle est absolument indépendante de toutes vues relatives à l'application de ma théorie aux expériences dont elle énonce les résultats.

** On comprend que la face nommée ici *face chaude* est celle qui est du côté de l'air chaud, et réciproquement que la *face froide* est celle du côté de l'air froid.

B. Et s'il se dépose de l'humidité sur la face opposée, ou sur la *face froide ;* elle s'accumule sur cette face dans la place correspondant à l'armure, de sorte qu'il y en a plus là qu'ailleurs.

C. Les mêmes choses arrivent lorsque l'armure est à distance ; mais alors si l'humidité se dépose du *côté chaud ;* elle ne se dépose pas sur l'armure, mais elle s'accumule vis-à-vis sur le verre.

II. Lorsque la cloison est armée en contact sur la *face froide.*

A. S'il se dépose de l'humidité sur cette face, il ne s'en dépose point sur l'armure.

B. Et s'il se dépose de l'humidité sur la face opposée, c'est-à-dire, sur la *face chaude ;* il ne s'en dépose point sur la place correspondant à l'armure.

C. Les mêmes choses arrivent lorsque l'armure est à distance, toujours sur la *face froide.* Mais alors si l'humidité se dépose sur cette face ; non-seulement il ne s'en dépose point sur l'armure, mais il ne s'en dépose point non plus sur le verre qui est vis-à-vis.

III. A. Il suffit de couvrir de verre ou de vernis les armures en contact, ou la face des armures à distance qui regarde le verre, pour que les phénomènes cessent d'avoir lieu. Il ne se passe alors rien de remarquable.

B. Ce verre ou ce vernis étant de nouveau couvert de métal, les phénomènes recommencent.

C. Ils cessent si ce métal est de nouveau recouvert de verre.

D. Ils recommencent etc.

IV. Une seule proposition pourroit encore renfermer presque tous ces faits. La voici :

Lorsque le verre sépare deux masses d'air d'inégales températures, l'armure lui donne (ou semble lui donner) la propriété d'accumuler ou d'écarter l'humidité, selon qu'elle est appliquée sur sa face chaude *ou sur sa* face froide; *et son influence s'étend au travers du verre et au travers d'autres substances à des distances de plusieurs centimètres.*

CHAPITRE III.

Principe général duquel ces phénomènes paroissent dépendre.

§. 195. Ces phénomènes présentent un appareil de lames solides, échauffées d'un côté, refroidies de l'autre, plongées dans un milieu humide. L'humidité de ce milieu se convertit en eau concrète, tantôt du côté chaud tantôt du côté froid, par des causes qui peuvent varier, mais dont la principale est probablement la plus ou moins grande abondance de cette humidité d'une ou d'autre part. Dès que cette humidité commence à se convertir en eau concrète, le calorique du corps sur lequel elle se dépose l'enlève en partie sous forme de vapeurs. Si ce calorique abonde, l'évaporation est plus considérable. Elle peut aller au point de prévenir entièrement toute apparence de dépôt. Lors donc que nous voudrons connoître quelle sera la lame, ou la partie de la lame, sur laquelle le dépôt d'eau concrète sera le plus abondant, il suffira d'indiquer celle qui sera la plus froide; comme au contraire la partie où l'on devra s'attendre à trouver le moins de dépôt sera celle qu'on démontrera être la plus

chaude. On peut considérer ces parties comme de petits poëles, sur lesquels on met sécher. Le plus chaud sèche mieux.

Suivons l'application de ce principe.

CHAPITRE IV.

Application générale de ce principe.

§. 196. On vient de voir que l'auteur de ces curieuses expériences les généralise sous cette forme. « Lorsque le verre sépare deux masses » d'air d'inégales températures ; l'armure lui » donne la propriété d'accumuler ou d'écarter » l'humidité, selon qu'elle est appliquée sur » sa face chaude ou sur sa face froide. » Cela s'explique par les propriétés opposées du verre et du métal poli, relativement à la réflexion du calorique. Le verre réfléchit peu et le métal réfléchit beaucoup. Le premier réfléchit sept ou huit fois moins que le second (§. 147.). Il suit de là que le métal appliqué sur le verre est un très-bon écran.

§. 197. Si on l'applique du côté chaud, il empêche le calorique de pénétrer le verre. Ainsi la place opposée à l'armure reste froide. L'armure elle-même étant appliquée à ce corps froid se refroidit par voie de conductibilité,

et comme elle est un bon réflecteur, le calorique du côté chaud ne la pénètre que fort difficilement. Le calorique lui est enlevé rapidement d'une part, et lui est rendu lentement de l'autre. Elle doit donc demeurer froide. Ainsi l'effet de l'application d'une lame métallique, ou armure, sur le verre, du côté chaud, est de refroidir cette place tant en dedans qu'en dehors; je veux dire, tant du côté du verre que du côté de l'armure. Cette partie comparée aux autres est comme un poële refroidi, qui ne peut plus sécher ce qu'on y dépose. Ainsi l'humidité ne peut manquer de s'accumuler sur ses deux faces.

§. 198. Si on applique l'armure du côté froid, elle arrête également la sortie du calorique; car à mesure qu'il sort, elle le réfléchit en dedans par sa surface extérieure. D'où il arrive, que cette partie du verre, qui est recouverte par l'armure, se charge de calorique. Elle est un véritable poële échauffé. Le calorique entre dans le verre, le pénètre, passe à l'armure, la traverse, est réfléchi en dedans, et rentre dans le verre, où il est emmagasiné. Si donc il se dépose sur ce poële chaud une couche d'eau concrète; le calorique accumulé s'y introduit aussitôt par voie de conductibilité et l'enlève sous forme de vapeur, soit que le

dépôt s'effectue du côté du verre ou du côté de l'armure. Ainsi l'humidité doit s'écarter à la fois des deux faces de la lame armée.

Telle est l'explication générale de cette classe de phénomènes, que la théorie seule auroit pu nous faire pressentir. Pénétrons un peu plus avant dans l'intéressant exposé des faits que l'observateur a constatés.

CHAPITRE V.

Quelques détails.

§. 199. LORSQUE l'armure est à distance, elle agit comme réflecteur du côté du verre. Il faut se rappeler que le rayonnement du calorique est, pour presque tous les corps, composé d'émission et de réflexion; et que la réflexion est d'autant plus grande par rapport à la totalité du rayonnement, que le corps est meilleur réflecteur. Par conséquent, s'il se trouve dans un lieu de température d'ailleurs uniforme, un corps plus chaud ou plus froid; en lui présentant en face un bon réflecteur, on maintiendra plus long-tems ce corps dans la température qui lui est propre *.

§. 200. Supposons maintenant l'armure à distance placée du côté chaud; le verre sur lequel elle réfléchit, étant un corps sans cesse refroidi (par sa communication avec l'air froid),

* Ceci n'est qu'un cas particulier de la proposition qui porte que, dans un lieu de température d'ailleurs uniforme, s'il se trouve un corps plus chaud (ou plus froid); un réflecteur, placé de manière à recevoir les émanations de ce corps, échauffera (ou refroidira) les corps exposés à son influence (§. 108.).

sera plus refroidi encore ; et par conséquent séchera mal l'eau qui s'y dépose. Si donc ce dépôt se fait du côté chaud, on remarquera que l'eau s'accumule sous l'armure à la face chaude du verre (§. 194. I. C.).

§. 201. Lorsque l'armure à distance est placée du côté froid; le verre, par rapport à l'air froid, est un corps sans cesse échauffé (à cause de sa communication avec l'air chaud); ainsi l'armure, en qualité de bon réflecteur, tend à maintenir la chaleur du verre. Il doit donc arriver que ce petit poële s'échauffe et sèche mieux (§. 194. II. C.).

§. 202. Quant à l'armure, je ne saurois voir pourquoi du côté chaud elle écarte l'humidité, tandis que du côté froid, elle ne l'accumule pas. Si les différences de température et les distances étoient exactement les mêmes de part et d'autre, ce seroit une anomalie que je ne trouverois pas explicable. Mais comme je vois, par les détails du mémoire que j'ai sous les yeux, que les différences de température ne sont probablement pas égales de part et d'autre, et que cette partie des expériences ne comporte pas une détermination précise ; je ne crois pas que cette difficulté puisse être convertie en objection.

§. 203. « Si le verre est armé avec du papier

» doré, de sorte que la dorure soit exposée » à l'air, ce papier produit tous les effets d'une » armure ordinaire. Mais il n'en produit plus » aucun, si la dorure est appliquée immédia- » tement contre le verre, et que le côté nu » du papier soit exposé à l'air. * » Une glace étamée a donné les mêmes résultats.

Cette expérience ressemble à celle de Mr. Leslie, dans laquelle il présentoit à l'émanation calorifique une feuille d'étain, tantôt par son côté brillant et tantôt par sa face noircie (§. 165.). Et elle s'explique de même. Le papier étant fort perméable au calorique (c'est-à-dire le refléchissant peu) et se rapprochant à cet égard de la nature du verre (§. 146.); une simple feuille de papier ne peut ni échauffer ni refroidir la lame de verre sur laquelle on l'applique. Mais il n'importe guères qu'on applique cette feuille de papier toute seule, ou qu'on colle entr'elle et le verre une fine lame de métal. Car comme celle-ci est très-conductrice, l'effet général en sera peu ou point altéré (§. 164.). Il n'est donc pas étonnant que la feuille de papier doré, collée

* Propres expressions du mémoire manuscrit, parfaitement conformes pour le fond à celles de l'extrait. Voyez ci-dessus §. 193. n.° 10.

sur le verre par sa face brillante, et offrant à l'air une simple surface de papier, n'ait point altéré les effets produits par le verre seul. Au contraire, lorsqu'on a collé cette feuille en présentant la dorure au dehors, c'est sensiblement comme si on avoit collé la feuille d'or immédiatement sur le verre.

Tout revient à dire que la surface extérieure est la seule chose à considérer dans les phénomènes de cette espèce.

§. 204. La même clef d'explication suffit pour pénétrer dans cette classe de phénomènes que présentent plusieurs lames superposées. Car puisque la surface extérieure est ici la seule partie intéressée, il importe fort peu de savoir quelle est la composition de la masse totale de la lame. Ainsi, prenant une lame de verre sur laquelle on applique une lame ou armure métallique, on a certains effets qui ont été décrits et expliqués (§. 196.). Si maintenant on applique du verre (ou du vernis) sur le métal; on aura une lame terminée par une surface de verre (ou de vernis); et par conséquent aussi, on verra renaître tous les effets qu'on avoit obtenus avant d'avoir armé de métal la première lame. Il ne me paroît pas nécessaire de descendre à cet égard dans plus de détails.

§. 205. Il en est un cependant que je dois faire remarquer, parce qu'il tend à confirmer la théorie, en montrant que les explications qui en dérivent n'ont rien d'arbitraire.

Dans le cas où, les armures étant à distance, on les vernit pour changer l'effet; quelle sera celle des deux surfaces qu'il faudra vernir, pour cela? L'expérience nous apprend que c'est la surface qui regarde le verre. (§. 194. III. A). C'est aussi ce qui résulte de la théorie, puisque l'effet, selon l'explication qu'elle nous fournit (§. 199.), dépend uniquement de cette circonstance, que cette armure est un bon réflecteur. Si donc on change la nature de la surface qui réfléchit sur le verre, en lui ôtant par un vernis sa vertu réfléchissante, l'effet doit changer. Cela n'auroit pas lieu si on vernissoit l'autre surface.

§. 206. Autour de la place préservée de l'humidité, il se forme, dans ces expériences, une petite aréole sèche; parce que la chaleur du petit poële s'étend un peu au-delà du poële. Et cette aréole est bien terminée, peut-être parce que le poële étant de verre, qui est une matière lentement conductrice, les dégradations de la chaleur qui s'y propage deviennent très-vite insensibles.

Je n'ai pas pris en considération une assertion

de l'auteur de ces expériences relative aux corps anélectriques (§. 139. n.° 16.). 1.° parce que cette assertion sort de mon sujet. Car je suis bien loin de donner la cause que je discute comme la seule qui puisse agir. 2.° parce qu'en jetant les yeux sur le mémoire manuscrit plus étendu que j'ai sous les yeux, je vois que, sur cette assertion, l'auteur n'est entré dans aucun détail, tandis qu'il développe beaucoup les autres. Il semble donc n'avoir pas pris à tâche de discuter pleinement cette partie du sujet. Par cette raison, il sera bien d'attendre qu'elle ait été plus approfondie, ou du moins exposée avec plus de soin, pour juger du rapport que peut avoir cette circonstance avec l'influence de la cause qui se manifeste assez clairement dans les autres phénomènes de même espèce.

CHAPITRE VI.

Quelques remarques.

§. 207. Je ne prétends pas, par les explications précédentes, rendre compte de tous les détails des faits relatifs à l'eau qui se dépose de l'air sur certains corps, parce que probablement plusieurs causes concourent dans cette classe de phénomènes; mais j'espère que l'on reconnoîtra clairement l'action de celle que j'indique. Les observateurs distingueront peut-être les cas où elle a le plus d'influence et ceux où d'autres causes agissent avec plus d'énergie. Ils verront, par exemple, si la surface polie des feuilles a sur la rosée, dans les mêmes circonstances, quelque effet analogue à ceux de l'armure. Personne ne peut suivre ce genre de recherche avec plus d'intérêt et de fruit, que l'ingénieux observateur à qui sont dues les expériences qui viennent de nous occuper.

§. 208. Ces expériences offrent un résultat général qui me paroît propre à confirmer la théorie de l'équilibre mobile (§. 19.). Quand l'eau suspendue dans l'air mouille les lames qui séparent des couches d'inégales températures, elle s'y dépose tantôt du côté chaud

tantôt du côté froid, quelquefois aussi des deux côtés en même tems *. Considerons d'abord le côté chaud, et supposons que c'est de ce côté-là que l'humidité abonde. Le calorique y porte l'eau sur ses ailes, et rayonnant de toutes parts, il se jette entr'autres vers la cloison ou lame dirimante; la vapeur s'y tamise en quelque sorte; le calorique, suivant son impulsion, pénètre dans la cloison, et dépose l'eau, qui ne pouvant y pénétrer avec lui, y demeure adhérente. Tout cela peut également se dire

---

* Voici comme s'exprime à ce sujet le mémoire manuscrit au §. 66.

« On sait assez qu'en général, lorsque la température » n'est pas fort haute, et qu'elle baisse brusquement à » l'extérieur, il se forme de l'humidité en dedans sur » les vitres; et qu'au contraire lorsque la température « s'élève en dehors et qu'elle est basse en dedans, si » l'air extérieur est humide, il se dépose de l'eau sur » les vitres extérieurement. Mais cette humidité ex- » térieure se dépose très-souvent, quoique l'air exté- » rieur soit plus froid que l'intérieur. Par conséquent, » il s'en dépose aussi des deux côtés, quoique la » température soit à peu près égale en dedans et en » dehors. Quelquefois ce dépôt est en même tems in- » térieur et extérieur. »

Le mémoire et l'extrait supposent perpétuellement ces faits et en fournissent divers exemples. Voyez entr'autres le §. 193. n.° 24.

dans

dans l'hypothèse commune, je veux dire, dans cette hypothèse, qui ne considère l'équilibre que comme l'effet de deux tensions opposées, qui n'admet point de mouvement à l'état d'équilibre, ni de translation de calorique du froid au chaud. Tout cela en effet ne suppose que la translation du chaud au froid. Passons maintenant à considérer le cas où le dépôt se fait sur le côté froid de la cloison. Dans l'hypothèse commune, on ne peut plus faire emploi de la même conception. Mais dans la théorie de l'équilibre mobile, l'explication précédente subsiste en son entier. De ce côté froid, comme de l'autre, le calorique rayonne et porte l'eau sur ses ailes; la vapeur se tamise à la cloison et y dépose sa partie grossière, c'est-à-dire, l'eau concrète. Enfin dans cette même théorie, on n'a pas plus de peine à concevoir que l'eau se dépose à la fois sur les deux faces de la cloison. Il suffit pour cela que la quantité du calorique soit de part et d'autre trop petite pour opérer l'évaporation de l'eau déposée.

SECTION IX.

Résumé des principes exposés ci-dessus, et des principales conséquences qui en ont été déduites *.

§. 209. Le calorique est un fluide discret; chaque élément de calorique suit constamment la même ligne droite, tant qu'aucun obstacle ne l'arrête. Dans un espace chaud, chaque point est traversé sans cesse en tout sens par des filets de calorique.

Si cette constitution du calorique est admise, les conséquences suivantes deviennent inévitables.

---

* Ce résumé est extrait de celui que j'insérai dans la Bibl. brit. T. XXVI. p. 309, (août 1804), avant de connoître l'ouvrage de Mr. Leslie, et quand je ne connoissois encore les expériences de Mr. le C. de Rumford que par les extraits de la Bibl. brit. C'est principalement d'après ce résumé, qu'un journal estimé a donné assez récemment un exposé sommaire de ma théorie; mais cet exposé a été rédigé d'une manière si rapide, que dans l'espace d'une seule page qui y est destinée, il se trouve cinq contresens choquans. Je saisis l'occasion d'en redresser ici quelques-uns tacitement, en mettant mes propres expressions sous les yeux du lecteur.

Les trois premières n'exigent rien de plus. Les suivantes exigent en outre, que le calorique soit assimilé à la lumière, dans ses mouvemens de réflexion et de réfraction.

PREMIÈRE CONSÉQUENCE.

§. 210. Le calorique libre est un fluide rayonnant. Or comme à la surface des corps le calorique redevient libre, *chaque point de la surface des corps est un centre auquel tendent et duquel partent en tout sens des filets de calorique.*

SECONDE CONSÉQUENCE.

L'équilibre de chaleur, entre deux espaces voisins libres, *consiste dans l'égalité des échanges.*

TROISIÈME CONSÉQUENCE.

Lorsque l'équilibre est rompu, il se rétablit par des échanges inégaux. Et dans un milieu de température constante, un corps plus ou moins chaud revient à cette température selon cette loi : *Les tems étant en progression arithmétique, les différences de température sont en progression géométrique.*

QUATRIÈME CONSÉQUENCE.

Dans un lieu de température uniforme,

si l'on introduit *une surface réfléchissante*, ou réfringente ; elle *n'a aucune influence pour changer la température* d'aucun point de ce lieu-là.

CINQUIÈME CONSÉQUENCE.

Dans un lieu de température d'ailleurs uniforme, *si l'on place un corps ou plus chaud ou plus froid, et qu'ensuite on y introduise une surface réfléchissante*, ou réfringente ; *les points, sur lesquels ces surfaces dirigeront des rayons émanés de ce corps, en seront affectés*, savoir en s'échauffant, si le corps est plus chaud ; et en se refroidissant, s'il est plus froid.

SIXIÈME CONSÉQUENCE.

Un corps réflecteur, étant chauffé ou refroidi intérieurement, *recouvrera la température ambiante plus lentement* qu'un non-réflecteur.

SEPTIÈME CONSÉQUENCE.

Un corps réflecteur, étant chauffé ou refroidi intérieurement, *affectera moins un* autre corps placé à quelque distance (en l'échauffant ou le refroidissant) que n'auroit fait un corps non-réflecteur dans toutes les mêmes circonstances.

§. 211. Toutes ces conséquences ont été vérifiées par l'expérience, excepté ce qui concerne la *réfraction* du froid. C'est une expérience qui reste à faire, et j'en annonce avec confiance le résultat, si du moins la réfraction du calorique est susceptible d'être bien observée. Ce résultat est indiqué dans les conséquences quatrième et cinquième, qui pourroient ainsi être soumises à une nouvelle épreuve. Il est peu nécessaire d'indiquer ici les précautions par lesquelles on pourra se mettre à cet égard à l'abri de toute espèce d'illusion.

AVERTISSEMENT

RELATIF AUX SECTIONS SUIVANTES.

Ici finit l'exposition de la théorie du calorique rayonnant et de ses applications immédiates. Les expériences, dont j'ai fait usage jusqu'ici, non-seulement sont dues à des observateurs distingués par leur exactitude, mais sont, par leur nature, susceptibles d'un grand degré de précision. Elles semblent donc très-propres à faire juger du mérite et de la solidité de la théorie qu'on leur applique. C'est par ces expériences et par d'autres analogues, que je souhaite qu'on l'apprécie. Et j'ai cela si fort à cœur, que j'ai beaucoup hésité à rien y ajouter, par la crainte qu'on ne confondît ces applications immédiates avec d'autres qui ne sont pas telles, ou qui du moins ne sont pas susceptibles de la même exactitude. Cependant, il m'a paru, après y avoir

réfléchi, qu'il pouvoit être utile d'indiquer toute l'étendue du sujet, en présentant, à la suite des preuves de la théorie, des phénomènes qui s'y rallient fort bien; quoique, par leur nature compliquée, ou par d'autres circonstances, ils soient moins propres que les précédens à lui servir de base. Des observations météorologiques, des recherches sur la chaleur solaire et sur le froid austral, quelques autres remarques détachées sur des sujets liés par quelque rapport à l'objet principal de cet ouvrage, m'ont semblé pouvoir en faire partie; sans que ces accessoires dussent jeter de la défaveur sur le reste. Je crois même que ces nouveaux objets d'application, indépendamment de l'intérêt qu'ils ont par eux-mêmes, sont propres à confirmer la théorie, lorsque celle-ci a été précédemment établie sur un fondement solide.

SECTION X.

De la chaleur solaire et de la chaleur propre de la terre.

§. 212. L'OBJET principal de cette section est d'exposer un procédé, par lequel on peut estimer, d'une manière approchée, la chaleur des saisons froides et chaudes.

CHAPITRE I.

De la chaleur solaire comparée à la chaleur propre de la terre, à sa surface, et au lieu de l'observation.

§. 213. DE MAIRAN qui a traité ce sujet à fond et à deux époques très-éloignées *, envisage la chaleur solaire comme fort petite en comparaison de la chaleur propre de la terre. Le raisonnement qui le conduit à ce résultat, et qui fait la base de son ouvrage, est celui-ci.

* *Memoires de l'Ac. des Sciences de Paris pour* 1719 *et pour* 1765.

Pendant le cours d'une année, la chaleur solaire d'été est à celle d'hiver dans un très-grand rapport (à Paris au moins = 16 : 1).

Mais pendant le cours d'une année, la chaleur réelle et observée à la surface de la terre l'été, est à celle de l'hiver, dans un très-petit rapport (à Paris tout au plus = 32 : 31).

Donc à la surface de la terre et pendant le cours d'une année, la chaleur réelle est en partie indépendante de la chaleur solaire.

§. 214. Les prémisses de ce raisonnement sont susceptibles de discussion relativement à la grandeur précise des rapports sur lesquels elles s'appuient, mais dans leur généralité elle sont incontestables, et par conséquent la conclusion est certaine.

Les expressions dans lesquelles De Mairan s'est renfermé donnent peu de prise aux objections; mais on y reconnoît l'état d'imperfection de la théorie de la chaleur à l'époque où il s'occupoit d'une question qui y est si intimement liée. Il paroît n'estimer la chaleur solaire absolue que par sa valeur relative, c'est-à-dire, par son impression sur le thermomètre *. Il ne

* En rapportant l'expérience que j'ai citée ci-dessus (§. 28.). Mais surtout au §. 191 de ses *Nouvelles recherches*, etc. où il raisonne sur les degrés de variation de l'hiver à l'été qui ont été observés, comme représentant la vraie chaleur solaire absolue.

tient pas compte du refroidissement produit à la surface du globe terrestre par l'émission de la chaleur rayonnante, et néglige même celui qui a lieu du côté obscur *.

Ces conceptions imparfaites ont égaré des physiciens moins exacts et plus hardis dans leurs hypothèses. Il peut donc être utile d'analyser, d'après les principes reconnus vrais aujourd'hui, les conséquences du phénomène observé par De Mairan. C'est ce que je vais faire.

§. 215. Quelle que puisse être la nature de la lumière et quelque raison qu'on puisse avoir de la distinguer du calorique, on peut bien affirmer que le soleil échauffe la terre, et que de son influence résulte la variété des saisons.

Un second fait non moins certain, c'est que la surface ou l'écorce extérieure de la terre s'échauffe en été et se refroidit en hiver. L'homme ignorant n'en doute pas, et l'observateur éclairé en trouve la démonstration dans la température constante des caves profondes, laquelle est moyenne entre les chaleurs d'été et d'hiver qu'éprouve la surface.

§. 216. De ce dernier fait il suit, que la chaleur du soleil pendant l'été, est supérieure à

* *Nouv. rech.* §. 191. Et partout.

toute l'émission de chaleur rayonnante que produit l'écorce extérieure du globe, pendant cette même saison, dans le lieu où elle règne; ou en d'autres termes, que pendant les ardeurs de l'été, dans les lieux où cette saison règne, l'irradiation lumineuse fournit à la terre une quantité de calorique plus grande que celle que la terre exhâle. En effet, si elle recevoit moins de calorique qu'elle n'en perd, elle ne se réchaufferoit pas; il y auroit moindre refroidissement, mais non chaleur acquise; et l'on ne verroit pas à la surface de la terre, le thermomètre monter en été et se maintenir à un degré fort supérieur, non-seulement à celui de l'hiver, mais même à la température intérieure du globe. Il est donc prouvé par l'expérience, que le courant de calorique que le soleil d'été fait entrer dans le globe terrestre est plus dense que celui qui sort de ce même globe.

Ainsi la petitesse du rapport de chaleur réelle de l'été à l'hiver, prouve bien que la terre a une chaleur propre actuellement indépendante de la chaleur solaire; mais elle ne prouve pas que la chaleur solaire d'été est moindre que la chaleur rayonnante de la terre. Au contraire, on ne peut expliquer l'accroissement de chaleur qu'éprouve la terre pendant une saison de l'année, qu'en admettant qu'elle est en com-

munication avec une espace plus chaud qu'elle; c'est-à-dire, en d'autres termes, qu'un thermomètre isolé, substitué à la terre et plongé dans les rayons solaires, y monteroit plus haut qu'il ne feroit si, supprimant le soleil, on le plaçoit près de la terre vers les dernières limites de l'atmosphère *.

§. 217. Distinguons donc soigneusement deux sortes de chaleurs, propres à la terre comme à tout autre corps chaud (§. 92.); la chaleur interne que nous mesurons à sa surface, et la chaleur rayonnante que nous mesurerions aux dernières limites de l'atmosphère. La première dont a parlé de Mairan est beaucoup plus grande que la chaleur solaire; c'est une chaleur gênée, elle est en quelque sorte fixée car les obstacles que lui opposent les corps terrestres, et surtout l'air tant grossier que subtil.

Nous n'avons que des données très-insuffisantes pour déterminer cette chaleur absolue interne. Je n'entrerai là-dessus dans aucun

* Ceci est dit en supposant que les rayons solaires échauffent par leur action immédiate, ce que je n'entends point affirmer. Il n'est pas difficile, mais il seroit un peu long, de convertir cette expression en une autre mieux appropriée à l'action médiate de ces mêmes rayons.

détail, et je n'entreprendrai point, d'après les expériences récentes, de rectifier les limites indiquées par divers physiciens.

§. 218. La seconde espèce de chaleur qu'on peut également appeler terrestre, la chaleur rayonnante qui s'échappe sans cesse et sans retour, est en été moindre que la chaleur solaire; en hiver elle est plus grande.

Dans le cours d'une année moyenne, la chaleur rayonnante moyenne et la chaleur solaire moyenne sont égales ou inégales. Si elles sont égales, la chaleur moyenne de la terre est une quantité constante. Si elles sont inégales, la terre s'échauffe ou se refroidit. Elle s'échauffe si la chaleur solaire est la plus grande, et réciproquement.

§. 219. Mais puisqu'en été et en hiver ces chaleurs se surpassent tour-à-tour chaque année, il y a nécessairement deux momens où elles s'égalisent. L'un est le maximum d'échauffement de la terre, et l'autre le maximum de refroidissement. A ces deux époques la chaleur solaire et la chaleur terrestre rayonnante sont égales. Et ces deux points sont voisins des maximum et minimum de la chaleur solaire, sans cependant coïncider avec ceux-ci.

CHAPITRE II.

De la chaleur solaire comparée avec elle-même en été et en hiver, par voie d'observation.

§. 220. Les deux époques des maxima d'échauffement et de refroidissement de la surface terrestre fournissent peut-être un moyen de dégager la chaleur solaire de la chaleur propre de la terre, et de considérer la première seule à deux époques très-éloignées et propres à faire juger de la différence du soleil d'été au soleil d'hiver; d'où peut résulter une comparaison utile entre le calcul et l'observation.

§. 221. Puisqu'à ces deux époques la chaleur solaire et la chaleur terrestre rayonnante sont égales (§. 219.); on peut estimer l'une par l'autre. La chaleur solaire qui s'accumule pendant un tems donné, tel que vingt-quatre heures, est alors égale à la chaleur rayonnante de la terre pendant ce même espace de tems. Or, dans les vingt-quatre heures, il y a un intervalle pendant lequel, dans nos climats, la chaleur rayonnante n'est point compliquée avec la chaleur solaire puisque celle-ci devient nulle. Cet intervalle est la nuit; et la mesure

de tout le rayonnement de chaleur qui a eu lieu pendant la nuit, c'est le refroidissement nocturne ; ainsi nous avons un moyen d'estimer cette quantité.

Le refroidissement nocturne est la différence de la chaleur observée au coucher du soleil à celle qu'on observe au lever.

Si la terre étoit d'une température constante, et que cette température fût la même le jour et la nuit; on obtiendroit immédiatement la chaleur rayonnante des vingt-quatre heures par une simple règle de trois (§. 31.).

Mais le jour est plus chaud que la nuit, et par conséquent la chaleur rayonnante diurne est plus grande dans le même tems. Cet excès peut être, ou n'être pas, proportionnel à toute la chaleur rayonnante des vingt-quatre heures. Dans l'impossibilité d'en tenir compte actuellement, je le supposerai proportionnel, ce qui m'autorisera à le négliger dans le calcul suivant où il ne s'agit que de rapports.

§. 222. J'estimerai donc la chaleur rayonnante des vingt-quatre heures par le refroidissement nocturne supposé constant ; et faisant cette estimation aux deux époques de l'année où la terre jouit d'une chaleur stationnaire, j'en conclurai le rapport de la chaleur solaire avec elle-même à ces deux époques d'été et d'hiver.

Voici

Voici la formule de cette estimation.

Soient S, s, la chaleur solaire aux maxima d'échauffement et de refroidissement de la terre; R, r, le refroidissement nocturne à ces deux époques; N, n, la durée de la nuit.

La chaleur rayonnante en tems donné sera en raison directe du refroidissement nocturne et pourra être supposée en raison inverse de la durée de la nuit *. Et la chaleur solaire égalant la chaleur rayonnante, on aura $S : s = \frac{R}{N} : \frac{r}{n}$.

§. 223. On ne parviendroit pas au même but en estimant la chaleur diurne du soleil par la différence du coucher au lever de cet astre. Cette différence donne bien l'échauffement final produit par son influence; mais cet échauffement n'est que l'excès de la chaleur solaire sur la ra-

* Cela suppose le refroidissement proportionnel au tems, tandis qu'on sait qu'il suit une loi fort différente (§. 40.). Mais il faut remarquer qu'il s'agit ici d'un refroidissement très-petit et opéré dans un tems fort court par comparaison à celui qui seroit nécessaire pour épuiser la chaleur de la terre. L'erreur qui en résulte est à peu près celle qui résulteroit de la supposition que dans nos expériences de cabinet le refroidissement est constant pendant le cours de deux ou trois secondes successives. Il faut aussi remarquer que cette erreur est en partie corrigée par cela même qu'elle est également commise dans les deux termes du rapport.

diation. Or une partie de cette radiation est à la vérité proportionnelle à l'échauffement, savoir, l'excès de la radiation diurne sur la nocturne; mais la radiation absolue et constante, qui a lieu également le jour et la nuit, est proportionnelle à la chaleur thermométrique absolue de la terre et nullement à l'échauffement solaire. Or cette radiation affecte également le thermomètre, et se porte en déduction sur la chaleur solaire que cet instrument indique à la fin du jour.

Si l'on vouloit estimer cette radiation absolue, on ne pourroit le faire que par le refroidissement nocturne, ce qui rejetteroit dans une formule analogue à la précédente, en suivant une méthode moins claire.

Ainsi, malgré l'inégalité qui peut résulter du défaut de proportion entre l'excès de la chaleur rayonnante diurne et la totalité de la chaleur rayonnante en vingt-quatre heures, et malgré la négligence commise dans l'estimation de l'effet qu'a sur le refroidissement nocturne la durée de la nuit; je crois qu'on approchera de la vérité, autant qu'on le peut dans un premier essai, en s'en tenant à la formule indiquée. Je vais en conséquence offrir ici le résultat de quelques observations auxquelles cette formule peut être appliquée.

Observations du thermomètre, faites à Genève en 1788,

(Tirées du Journal de Genève in-4°. pour 1789, p. 52.)

MOIS.	Hauteurs moyennes du thermomètre dit de Réaumur en *degrés* et *dixièmes*.			Différence du coucher au lever.
	au lever du Soleil.	à 2 heures après midi.	au coucher du Soleil.	
Janvier	+ 0,1	+ 2,3	+ 1,6	1,5
Février	+ 2,0	+ 5,2	+ 4,1	2,1
Mars	+ 2,9	+ 9,3	+ 6,7	3,8
Avril	+ 3,5	+11,9	+ 8,7	5,2
Mai	+ 7,4	+16,0	+12,5	5,1
Juin	+10,5	+17,4	+13,4	2,9
Juillet	+10,9	+20,5	+16,4	5,5
Août	+10,5	+18,3	+14,6	4,1
Sept.	+ 9,4	+16,9	+14,0	4,6
Oct.	+ 4,6	+11,6	+ 9,0	4,4
Nov.	+ 0,3	+ 4,7	+ 2,3	2,0
Déc.	— 4,5	— 2,9	— 3,7	0,8
L'ANNÉE ENTIÈRE	Moyennes entre les douze moyennes.			
	+ 4,8	+10,9	+ 8,3	3,5

§. 224. Au mois de Juillet l'échauffement a atteint son maximum; car avant et après, aux trois époques d'observation et dans tous les mois, on voit que la chaleur est moindre. Ainsi,

pendant ce mois, le soleil donne autant à la terre que la chaleur rayonnante lui enlève. C'est donc le cas d'appliquer notre formule (§. 222.) pour apprécier la chaleur solaire en vingt-quatre heures.

D'après la table (§. 223.) on a $R = 5,5$.

D'après la position géographique de Genève, dans une approximation imparfaite, nous pouvons, pour simplifier, supposer qu'en juillet le jour est double de la nuit; l'erreur qui en résultera aura d'autant moins d'influence, qu'elle sera également commise dans l'estimation comparative que nous ferons par voie de calcul; en sorte qu'elle affectera très-peu le rapport de ces deux estimations. Ainsi, dans la formule $S = \frac{R}{N}$, nous ferons $N = 1$. Cette formule deviendra donc $S = R = 5,5$ degrés.

A cinq mois de là, l'échauffement est à son minimum, et à cette époque encore, les chaleurs solaire et rayonnante s'égalisant, on peut faire usage de la même formule. Ce moment semble tomber en décembre dans notre table (§. 223.). Il est vrai que le mois de janvier suivant y manquant, on pourroit croire que ce mois fut plus froid que décembre. Mais je me suis assuré du contraire; en sorte que c'est bien en décembre que le refroidissement cessa et que l'échauffement commença. Dans

ce mois on a $r = 0,8$ par la table. Et par la position géographique de Genève, en tolérant une erreur analogue à celle que j'ai excusée pour juillet, on a $n = 2$.

D'où résulte $s = \frac{r}{2} = 0'4$ de degré.

En sorte que la chaleur solaire en juillet fut à la chaleur solaire en décembre, ou $S : s = 5'5 : 4 = 13'7 : 1$.

§. 225. Ce résultat n'est pas fondé sur des données assez sûres, et je ne l'offre encore que comme exemple. 1.° Il n'est tiré que d'une seule année. 2.° L'hiver de 1788 à 1789 fut très-rigoureux à Genève; en sorte que le refroidissement fut probablement plus rapide qu'à l'ordinaire, et le minimum de chaleur rayonnante plus petit. 3.° D'ailleurs la petitesse même de cette quantité rend plus nécessaire la comparaison de plusieurs années; car le moindre écart d'observation ou la moindre irrégularité dans les circonstances, peut produire un effet sensible sur sa valeur. C'est sans doute par cette raison que la différence moyenne du lever au coucher varie beaucoup plus d'une année à l'autre en décembre qu'en juillet.

§. 226. Je tire encore du Journal de Genève les résultats suivans :

Année 1789.

En juillet on trouve la différence moyenne de la température du soir au matin ou $R = 4,2$. [exactement 4, 187 +].

En décembre, $r = 1,9$. [exact. 1,945 +].

Et partant $S : s = 4,4 : 1$.

Année 1790.

En juillet, $R = 3,9$. [exactement 3,880 +].

En décembre, $r = 0,7$. [exact. 0,658 +].

$S : s = 11,4 : 1$.

J'ai cherché, dans la table des observations diurnes pour 1788, les *dix jours* de l'année qui indiquoient la plus grande chaleur, et les *dix jours* qui indiquoient le plus grand froid. Et j'ai reconnu que l'époque du maximum de chaleur eut lieu l'été de cette année-là, 1788, du 10 au 19 juillet inclusivement, et que l'époque du minimum eut lieu l'hiver du 28 décembre 1788 au 6 janvier 1789 aussi inclusivement. Cherchant donc les moyennes de ces deux époques, j'ai trouvé les nombres suivans de degrés de RÉAUMUR, où j'ai exprimé jusqu'aux centièmes de degré.

Moyennes du 10 *au* 19 *juillet* 1788, *inclus.*

au lever du soleil	+ 12,46 degrés.
au coucher	+ 18,80
Différence, ou $R =$	6,34

Moyennes du 18 *Décembre* 1788 *au* 6 *Janv.* 1789 *inclus.*

au lever du soleil — 10,25
au coucher — 8,47
Différence, ou $r = 1,78$
D'où l'on tire S: $s = 7,1 : 1$

J'ai tenté la même méthode pour d'autres années. J'ai donc cherché pour chacune les *dix jours* du maximum et les *dix jours* du minimum de chaleur, et j'ai pris les moyennes de ces deux époques. La table suivante présente les résultats que j'ai obtenus. Les dix jours d'observation dont j'ai pris la moyenne y sont indiqués en parenthèse, par le premier et le dernier de ces jours, à la suite du mois auquel ils se sont trouvés appartenir.

Epoques d'été.	*Moyennes.*
1788 Juillet (11-20)	... 6,28 degrés de Réaumur.
1789 Juillet (3-12)	... 5,24
1790 Juin (15-24)	... 6,85
1791 Juillet (18-27)	... 5,58
Maximum moyen R	= 5,99

Epoques d'hiver.	*Moyennes.*
1788 Décembre 28 / 1789 Janvier 6	... 1,78
1790 Janvier (7-16)	... 1,79
1790 Décembre 25 / 1791 Janvier 3	... 1,58
Minimum moyen r	= 1,72

D'où l'on tire S: $s = 7 : 1$

En écartant les observations évidemment altérées par des causes accidentelles, telles que les vents et les orages, on obtiendroit sans doute des résultats plus uniformes *.

§. 227. Plusieurs recueils météorologiques comprennent de longues suites d'observations; mais la méthode des rédacteurs de n'offrir que des moyennes complexes, rend leurs travaux inutiles pour le but que je me propose.

§. 228. Je n'aperçois aucune méthode préférable à celle que j'ai adoptée, ni même aucune autre digne d'être tentée, pour l'estimation expérimentale du rapport de la chaleur solaire diurne d'été et d'hiver; mais celle-ci me semble susceptible d'être perfectionnée, non-seulement par la précision des observations, mais par la détermination de la vraie différence entre la chaleur rayonnante diurne et nocturne pendant un tems donné. Cette détermination se fera en partant du principe que la chaleur rayonnante en tems donné est proportionnelle à la

---

* J'ai eu égard à l'errata joint au n.° 1 du journal de 1791.

L'époque de 1788 janvier (14—23) donnoit pour moyenne 2,19 degrés. Je l'ai écartée. En la réunissant aux trois époques d'hiver indiquées, on auroit $r=1,84$. D'où $S:s=6,5:1$.

chaleur interne (§. 31.). Et on y arrivera peut-être par des calculs d'approximation, pareils à ceux qu'emploient les astronomes dans des cas analogues.

Il n'est pas à propos d'entreprendre ce travail, avant d'avoir des données sûres par des observations multipliées et faites dans ce but. Néanmoins le premier résultat de cette tentative n'est pas indigne de toute confiance, et je vais le comparer au résultat que donne le calcul du rapport de la chaleur solaire avec elle-même aux mêmes époques, fondé sur des principes antérieurs et assez bien analysés.

CHAPITRE III.

De la chaleur solaire comparée avec elle-même, en été et en hiver, par voie de calcul.

§. 229. La chaleur produite par le soleil sera généralement supposée, dans ce qui va suivre, proportionnelle à l'accumulation de ses rayons. Cela semble pouvoir être admis du moins entre certaines limites (§. 28.).

Richmann a fait là-dessus des expériences directes que sa mort prématurée l'empêcha de porter au point de perfection qu'il avoit en vue.

Il plongea des thermomètres dans le cône lumineux sortant d'une forte lentille exposée aux rayons solaires. Et les degrés qu'ils indiquèrent furent à peu près proportionnels à la densité calculée de ces rayons dans le lieu où le thermomètre étoit placé. Seulement dans les degrés très-élevés, le mercure du thermomètre lui parut se dilater au-delà des limites indiquées par le calcul, ce qu'il supposoit provenir de l'affoiblissement d'attraction entre ses molécules résultant de l'augmentation de leur distance *.

De Mairan fait entrer quatre élémens dans l'estimation du rapport de l'été à l'hiver solaire.

1.° *Les sinus des hauteurs solaires à l'un et à l'autre solstice.*

Il préfère le rapport simple à celui des carrés; parce que celui-ci résulte de la considération de l'intensité des chocs de la lumière contre la surface de la terre, et que l'irrégularité de toutes les surfaces les plus planes en apparence paroît rendre cette considération inutile.

2.° *Les différentes intensités de la lumière après son passage plus ou moins oblique dans l'atmosphère.*

Il adopte la table de diminution de Bouguer.

* Nov. comm. Acad. Petrop. T. IV. p. 289.

3°. *Les différentes distances du soleil à la terre.*

Il n'a aucun égard à la plus ou moins grande vitesse du mouvement dans l'orbite.

4.° *Les carrés des arcs semi-diurnes ou de la longueur des jours.*

Il justifie ce rapport doublé par des raisons tirées de l'accumulation de chaleur produite par les jours précédens et relatives, par conséquent, à l'estimation de l'effet produit par chaque saison entière *.

Composant ces quatre rapports pour chaque climat, De Mairan obtient le rapport estimé de la chaleur solaire d'été à celle d'hiver. C'est ainsi qu'il trouve, que pour la latitude de Paris, ce rapport est celui de 16,8 à 1.

§. 230. Discutons en peu de mots les bases de ce calcul.

Sur le premier élément (*les sinus des hauteurs solaires*) : j'observe que le rapport de l'intensité des chocs de la lumière doit être exclu, non-seulement à cause de l'irrégularité des surfaces, mais parce qu'il n'y a pas lieu de croire que la chaleur solaire soit proportionnelle à cette intensité.

* *Acad. des Sc. pour 1765. p. 167.*

Cette remarque est une raison ajoutée à celle qui a déterminé Mairan à préférer le rapport simple au rapport doublé. Je l'adopterai donc comme lui. Ainsi à la latitude de Genève, j'ajouterai ou retrancherai la déclinaison du soleil, sans tenir compte dans ce premier essai des réfractions, et en me bornant à des termes approchés. Il résultera de là qu'à Genève la hauteur moyenne du soleil sera comptée en juillet de 65 degrés et en décembre de 20 degrés *.

§. 231. Je ne change rien au second élément (*l'intensité de la lumière diminuée par l'atmosphère*). C'est le résultat d'expériences faites avec beaucoup de soin. Peut-être une fois le diaphanomètre d'Hor. Bén. De Saussure offrira-t-il un moyen de parvenir à un plus haut degré d'exactitude. En attendant, je m'en tiendrai à l'extrait de la table de Bouguer, que Mairan a donné dans son mémoire. La lumière primitive y est désignée par le nombre 10000, et son intensité, après avoir traversé l'atmosphère y est exprimée par un nombre correspondant à la hauteur solaire.

* Il s'agit de degrés anciens, tels que sont ceux de la table de Bouguer que j'emploie au §. suivant.

En juillet et décembre ces nombres se trouvent être pour Genève 7951 et 5474 *.

§. 232. J'observe sur ces deux premiers élémens combinés, qu'il seroit à souhaiter qu'on pût distinguer la partie de la lumière qui

---

* *Extrait de la Table des forces restantes à la lumière après son passage dans l'atmosphère, sa force totale, avant que d'y entrer, étant exprimée par* 10000. (Académie de Sciences de Paris 1765, p. 164.).

Hauteurs apparentes de l'astre.	*Force de la lumière.*
70°	8016
65	7951
60	7866
50	7624
40	7237
30	6613
20	5474
10	3149
5	1201
1	47
0	6

Lambert a donné dans sa Photométrie (§§. 886 et 908) une table, qui ne s'accorde pas avec celle de Bouguer, mais fondée sur une seule expérience assez imparfaite, et donnée plutôt comme exemple que comme règle. Celle de Bouguer paroît confirmée par les observations de Mr. Humbolt; et l'auteur du *Système du monde* l'a employée avec confiance.

est réfléchie, de celle qui est absorbée par l'atmosphère; car la première est une perte totale, au lieu que la seconde communique quelque chaleur au sol. Mais je n'aurai pas égard à cette circonstance, n'ayant aucune donnée exacte pour faire cette distinction, qui d'ailleurs, dans l'estimation des rapports de la diminution relativement aux hauteurs solaires, n'est probablement pas de grande importance, surtout dans un tems court, pendant lequel l'échauffement des couches un peu élevées de l'atmosphère ne peut guère se faire sentir à la surface de la terre.

§. 233. Sur le troisième élément (*les différentes distances du soleil à la terre*), je ferai ci-dessous (§. 276.), une remarque détaillée, de laquelle il résulte démonstrativement, que cet élément est absolument nul dans un calcul où il s'agit de comparer les quantités totales de chaleur versées par le soleil pendant qu'il parcourt deux arcs égaux de l'écliptique. Mais lorsqu'il s'agit de comparer les quantités versées en tems déterminé, par exemple en vingt-quatre heures, cet élément n'est pas nul et il faut en tenir compte. La distance de la terre au soleil en juillet, est à cette même distance en décembre; à peu près comme 127 est à 123.

§. 234. Sur le quatrième élément (*les arcs*

semi-diurnes, ou la longueur des jours), j'observe, sans discuter les raisons qui ont fait adopter à De Mairan le rapport doublé, que ces raisons ne sont pas applicables à mon but, qui est simplement d'estimer la chaleur du soleil pour deux jours comparés. Dans ce but il est facile de voir que le rapport simple de la longueur des jours approche plus de la vérité. C'est celui auquel je m'arrêterai. Et je dirai, qu'à deux époques de l'année, les chaleurs solaires sont entr'elles, comme les arcs semi-diurnes pour ces momens respectifs. Ce rapport sera estimé ici, comme il l'a été dans le résultat d'observation (§. 224.); c'est-à-dire, que nous supposerons le jour en juillet double du jour en décembre.

§. 235. Maintenant appliquons les principes que nous venons de discuter à l'estimation du rapport que nous avons déterminé ci-dessus (§§. 224. 226.) par voie d'observation. Et employons à cet effet les quantités que nous venons d'indiquer comme étant les élémens desquels ce rapport doit dépendre.

§. 236. En composant les quatre rapports ci-dessus (§§. 230, 231, 233, 234.), on trouve * qu'à Genève, la chaleur solaire d'un

* $\frac{sin.\ 65^\circ}{sin.\ 20^\circ} \cdot \frac{7251}{5474} \cdot \left(\frac{125}{127}\right)^2 \cdot \frac{2}{1} = 7'220608.$

jour de juillet, doit être à celle d'un jour de décembre; comme 7,2 est à 1.

CHAPITRE IV.

Comparaison des résultats de l'observation et du calcul.

§. 237. Le rapport moyen donné par l'observation est celui de 7 : 1 (§. 226.). Celui du calcul 7'2 : 1 (§. 236.). Je ne me laisse point séduire par cette coïncidence. Mais ce premier essai donne lieu d'espérer qu'une suite de comparaisons pareilles pourra conduire à une détermination plus exacte.

§. 238. Je préviens une objection. En 1788, la moindre chaleur observée eut lieu en décembre et la plus grande en juillet; mais en d'autres années ces époques furent différentes, et en ce cas les bases de tout ce calcul semblent vicieuses : en effet la chaleur rayonnante ne peut servir de mesure à la chaleur solaire, que lorsque ces deux chaleurs sont égales; attendu qu'elles ne sont pas proportionnelles en d'autres tems (§. 220.).

Je réponds qu'en effet il y a eu quelque différence entre les époques de ces maxima et minima en différentes années; mais cela n'est

pas

pas d'une grande importance, parce qu'aux environs de ces époques la chaleur observée est à peu près stationnaire. Aux environs de juillet, où elle l'est moins, l'époque est aussi plus constante, comme je m'en suis assuré par l'inspection d'un grand nombre de tables météorologiques. Le minimum de chaleur observée a lieu, dans tous les climats de notre zone tempérée, entre décembre et janvier, mais plutôt en janvier; et la différence de l'un de ces mois à l'autre est généralement très-petite.

§. 239. J'ajoute que, par d'autres causes, la marche de l'échauffement, depuis le solstice d'hiver jusqu'à l'équinoxe du printems, n'est pas toujours régulière; en sorte que le mois de février est souvent plus froid que l'un des deux mois qui le précèdent. Mais quelle qu'en soit la cause, cela n'influe nullement sur notre calcul, dont la vérité dépend uniquement de cette circonstance que la chaleur, aux époques où nous l'avons considérée, est stationnaire; qu'elle remonte après avoir descendu, ou réciproquement. Or, lors même que la courbe qu'elle suit a divers point d'inflection, les points particuliers que nous avons choisis n'en sont pas moins réels, ni moins propres à fonder nos conclusions.

§. 240. On pourroit croire enfin, que le froid et le chaud, en diverses saisons, dépendent, non-seulement des deux élémens que j'ai envisagés, savoir la chaleur entrante et la chaleur sortante, mais encore des grandes oscillations de la chaleur propre et interne de la terre. Il n'est pas douteux, qu'en certains tems et en certains lieux, ces oscillations n'affectent le thermomètre; il se peut qu'elles soient jusqu'à un certain point déterminées par l'influence des saisons, et qu'elles réagissent ainsi sur elles. Mais en général, et dans les climats communs de notre zone qui sont éloignés des sources accidentelles connues de chaleur interne, il paroît que ces oscillations sont peu sensibles ou se compensent: car les résultats moyens des observations thermométriques sont fort réguliers.

§. 241. Comme preuve de cette assertion, et comme éclaircissement des précédentes, je citerai le résultat moyen des observations faites trois fois par jour à Paris pendant vingt-neuf ans.

Il est fourni par la table suivante, où les degrés indiqués sont ceux du thermomètre de Réaumur rectifié par De Luc.

Cette table, donnée par le P. Cotte a dû servir de base à celles des opérations relatives

à la détermination des poids et mesures qui peuvent dépendre de ces variations. (Voyez le Journal de Physique de décembre 1792.)

Chaleur moyenne à Paris.

Janvier	1'6
Février	4'0
Mars	5'1
Avril	8'4
Mai	12'7
Juin	15'6
Juillet	17'1
Août	17'1
Septembre	14'1
Octobre	9'5
Novembre	5'7
Décembre	3'2
Moyenne de l'année	9'5

§. 242. Après cette estimation comparée de la quantité de la chaleur diurne à deux époques éloignées l'une de l'autre, et voisines des maximum et minimum de cette chaleur; il faudroit estimer comparativement les chaleurs totales d'été et d'hiver.

La seule méthode rigoureuse d'y parvenir que je puisse entrevoir, est d'une longueur décourageante. Elle consiste à faire pour chaque

jour d'un équinoxe à l'autre, le même travail que nous avons fait pour un jour moyen de juillet et de décembre (§. 236), et à comparer les deux sommes.

On pourroit y suppléer par une approximation imparfaite, en prenant de part et d'autre des moyennes pour les deux premiers élémens (§§. 230. 231.). Quant au troisième, (*la distance du soleil*) il devroit être supprimé, parce qu'on compareroit des effets produits par le soleil parcourant deux arcs égaux de l'écliptique (§. 233.). On auroit égard au quatrième élément, en déterminant la durée du jour moyen d'hiver et du jour moyen d'été.

Il y a encore trop d'incertitude dans les données pour entreprendre ce calcul; et d'ailleurs il ne seroit pas facile d'en comparer le résultat à celui de l'observation, je veux dire de trouver une méthode pour sommer les chaleurs solaires d'été et d'hiver observées chaque jour, parce que ces chaleurs observées sont compliquées avec la chaleur propre de la terre et ont souffert la déduction de la chaleur rayonnante; en sorte que ce n'a pu être qu'en profitant des instans particuliers où cette chaleur rayonnante devient égale à la chaleur solaire, que nous avons eu un moyen de faire en quelque sorte l'analyse de ces quantités complexes.

Toutefois il ne faut pas désespérer de vaincre ces difficultés *.

CHAPITRE V.

De la chaleur solaire d'été en différens climats.

§. 243. Les principes posés ci-dessus expliquent d'une manière satisfaisante un phénomène qui a frappé dès long-tems les observateurs, et que Mairan semble avoir bien constaté; mais dont il n'a pas, à mon avis, indiqué une cause probable **.

§. 244. Le phénomène que j'ai en vue est l'*égalité* qui a lieu *entre les étés* des divers climats, ou entre les maxima moyens annuels du thermomètre. Le maximum moyen commun à tous les climats, ou l'été universel de la terre, élève, selon Mairan, à 26° le thermomètre de R. Il s'efforce d'établir, par les observations faites en divers lieux, que c'est à ce point qu'on peut fixer partout la plus grande chaleur d'été.

* Pourroit-on profiter pour cela de l'ingénieuse invention de Richmann pour mesurer par une seule observation l'échauffement moyen d'un long tems? *Nov. Comm. Acad. Petrop.* T. II. p. 172.

** Nouv. rech. etc. §. 201.

§. 245. Sans discuter le fait, on peut admettre avec assurance que les chaleurs extrêmes d'été en divers climats diffèrent moins que les froids extrêmes d'hiver; et qu'il règne à cet égard une sorte d'égalité entre les diverses latitudes.

§. 246. En effet si l'on calcule les chaleurs solaires au maximum pour divers climats, on les trouve, sinon égales, du moins extrêmement près de l'égalité. On peut s'en assurer aisément en faisant, pour divers climats de notre hémisphère, un calcul analogue à celui que j'ai fait pour le climat de Genève (§. 236.); et en comparant entr'eux les résultats de l'époque du mois de juillet. Je trouve, par une approximation imparfaite, que du 47° au 71° de latitude, la chaleur solaire, à cette époque, est partout presque égale à elle-même. Car le rapport calculé de la sorte, pour ces deux climats extrêmes, est à peu près celui de 11 : 10, et par conséquent s'éloigne bien peu de l'égalité. Le résultat d'une approximation pareille sur les climats de la zone torride ne s'écarte pas beaucoup de ces limites, et indique une chaleur moindre que celle de la zone tempérée, mais de manière qu'elle peut bien être considérée aussi comme étant sensiblement égale.

§. 247. Il en est tout autrement de l'époque du minimum de chaleur solaire, lequel, pour notre hémisphère, tombe entre décembre et janvier. Car sans aucun calcul on trouve un rapport infini entre les climats de la zone tempérée et ceux de la zone polaire dès le 68°, auquel on a une nuit d'un mois. Et par analogie on juge aisément des intermédiaires.

Aussi est-ce un fait bien évident et bien constaté que la terre à la fin de l'hiver est d'une température extrêmement différente en différens climats.

§. 248. Maintenant, quelle que soit la température de la terre, en un climat quelconque, à l'entrée du mois de juillet; supposons que la durée de ce mois soit partout suffisante pour élever cette température au niveau de la source. Et le phénomène sera expliqué. Car la source étant égale partout, et partout aussi le tems suffisant; tous les lieux parviendront à l'équilibre entre leur propre température et celle de la source. Et par conséquent partout le thermomètre sera maintenu au même degré.

Supposons divers corps à divers degrés de température froide, telle que — 1, — 10, — 20, — 30, etc. Qu'on approche ces corps en même tems et à même distance d'un feu très-ardent. Les corps les plus froids s'échaufferont

plus tard. Mais si on les laisse tous exposés à la même chaleur pendant un tems suffisant, ils finiront par indiquer la même température.

CHAPITRE VI.

De la chaleur moyenne en différens climats.

§. 249. Il me semble que l'on pourroit, en suivant les principes établis ci-dessus, arriver à quelque détermination par voie de calcul sur la chaleur moyenne des différens climats. Mais j'ai toujours trouvé cette recherche trop compliquée, pour pouvoir la suivre avec clarté et en détail.

Je me bornerai donc à rapporter ici une loi, dont je n'aperçois point le fondement en théorie, mais qui semble assez d'accord avec les observations, telles que l'auteur nous les donne.

Mr. d'Aubuisson * croit que la chaleur d'un lieu est proportionnelle à l'action solaire, et que celle-ci est proportionnelle au cosinus de la latitude élevé à la puissance dont l'exposant est $2\frac{1}{4}$. Prenant les observations faites en divers

* Journ. de Physiq. pour 1806. T. 62. p. 443.

lieux (soit par la température des lieux profonds, soit par des observations à l'air) il offre le résultat comparé du calcul et de l'observation comme suit :

Lieu de l'obs.		*Latitude.*	*Température observée.*	*Température calculée.*
Le Caire		30° 2′	18,0	17,8
Paris		48 50	9,6	9,6
Londres		51 29	8,8	8,5
Corke	en Irlande	51 54	8,5	8,3
Tullamore	en Irlande	53 12	7,1	7,8
Dublin	en Irlande	53 20	7,7	7,7
Armagh	en Irlande	54 20	6,9	7,3
Emiscoo	en Irlande	54 48	7,4	7,1
Londondery	en Irlande	55 0	6,6	7,0
Ballycastle	en Irlande	55 12	7,1	7,0
Stockholm		59 20	6,0	5,4
Torneo		65 51	2,5	3,3
Wadsoe		70 20	1,8	2,1

CHAPITRE VII.

De l'échauffement du globe terrestre.

§. 250. Je n'ai envisagé jusqu'ici la chaleur de la terre qu'à sa surface et en un lieu particulier. Je vais examiner les opinions de quelques physiciens sur la chaleur de tout le globe. Les uns l'ont jugée croissante, les autres décroissante.

La première de ces opinions, dans l'origine, semble avoir été de pure théorie, et fondée sur des notions contraires aux lois de la nature. Elle reposoit sur ce principe que la chaleur ne se communique que de corps à corps, et que sans conducteur matériel elle ne peut se dissiper. Ainsi on négligeoit la chaleur rayonnante qui n'est probablement jamais plus abondante que dans le vide *.

* Cette assertion n'est point en contradiction avec celle du C. de Rumford, qui a observé que dans un vase fermé la propagation de la chaleur par le vide étoit plus lente que par l'air. Des deux moyens de propagation (le rayonnement et la conductibilité), si l'on supprime l'un, en faisant croître l'autre; on

§. 251. Cette cause de diminution de chaleur étoit si peu connue au milieu de ce siècle, qu'Æpinus, physicien fort exact et ingénieux, ne savoit à quelle idée s'arrêter en s'occupant de ce sujet. Voici ses expressions fidellement traduites.

« Est-ce qu'une partie de la chaleur, que » la terre a reçue du soleil, ne s'échappe point » continuellement dans l'espace vide des cieux? » J'ose élever cette question ; car l'expérience » a appris que la chaleur peut se transmettre » et se dissiper dans des espaces vides d'air et » de tout autre corps visible ou tangible.

» Peut-être une autre conjecture plaira-» t-elle davantage. Tous mes raisonnemens » reposent sur les lois établies par le consen-» tement presqu'unanime des physiciens ; mais » ces lois supposent tacitement que les corps » ne peuvent perdre la chaleur qu'ils ont » acquise, que par l'écoulement de cette cha-» leur dans d'autres corps ou dans d'autres » lieux moins chauds. Mais divers exemples ne » nous prouvent-ils pas qu'il est au pouvoir de

---

ne peut s'étonner que la propagation soit ralentie. Cela dépend du rapport de ces moyens dans les circonstances données.

» la nature tantôt de produire de la chaleur, » tantôt de la détruire, sans qu'il soit néces- » saire qu'elle l'emprunte d'un corps ou qu'elle » la verse dans d'autres * ? »

L'auteur fait usage de cette considération avec beaucoup de réserve et de modestie, pour la solution de la difficulté qu'il s'étoit proposée. Puis il se fait à lui-même cette question : » Ne » cherché-je point ici la solution d'une diffi- » culté qui n'existe pas? » Le fondement de ce doute est l'impossibilité de s'assurer par des observations comparées qu'en effet le globe terrestre ne s'échauffe pas. Or s'il s'échauffe, il est inutile de mettre en avant des considérations du genre de celles que l'auteur vient de présenter. Mais remarquant que dès les tems les plus anciens, la terre produit dans les mêmes lieux, les mêmes plantes et les mêmes animaux ; il envisage les indications de ces thermomètres naturels, comme suffisantes pour rendre improbable la supposition d'un échauffement graduel de la terre.

§. 252. L'opinion de la chaleur croissante de la terre, fondée sur l'omission totale ou presque totale d'une cause de refroidissement

* *Cogitationes de distributione caloris per tellurem.* 1761.

bien constatée et constamment proportionnelle à la chaleur interne, n'auroit pas beaucoup d'importance; mais quelques physiciens ont cru remarquer dans la comparaison des observations anciennes et modernes des résultats propres à l'étayer *. Cependant elle n'a pas pris faveur, on s'est plutôt jeté dans l'opinion contraire. Je me bornerai donc à rappeler que la chaleur des caves, comparée à celle de l'hiver, prouve sans discussion un refroidissement quelconque de la terre pendant cette saison. Ainsi lors même qu'on prouveroit que la terre s'échauffe graduellement, on ne seroit pas dispensé de reconnoître une cause qui tend à diminuer cet effet. Et comme on sait que l'échauffement, ou la quantité de chaleur ajoutée en tems donné par une même source de chaleur, va toujours en diminuant (§. 48.); lors même qu'on ne voudroit pas reconnoître la loi que suit la cause du refroidissement, on seroit forcé d'admettre un terme auquel l'échauffement cesseroit et où les deux causes contraires se compenseroient exactement.

* Voyez un mémoire de Barrington, *Trans. phil.* année 1768, cité par Mr. De Luc, *Lettres sur l'histoire de la terre*, T. I. p. 320.

CHAPITRE VIII.

Du refroidissement du globe terrestre.

§. 253. L'OPINION du refroidissement graduel du globe terrestre paroît avoir pris sa source dans des idées de théorie assez mal définies; mais on a cru ensuite pouvoir l'établir sur des observations comparées. Je ne traiterai pas ce sujet très-étendu et en quelque sorte épuisé *; mais j'indiquerai quelques vices de raisonnement dans les idées théoriques, et je ferai quelques rapprochemens d'observations exactes relatives à cet objet, dans le but de renfermer la question en de justes bornes; et de ne pas laisser à l'esprit un trop vaste champ d'incertitude.

§. 254. Il paroît que le résultat des calculs de Mairan sur la chaleur solaire a induit en erreur Buffon. Car ce célèbre naturaliste en a conclu que les rayons solaires ne faisoient que compenser $\frac{1}{50}$ème de la perte que fait notre globe de sa chaleur propre. C'est du

* Mr. De Luc l'a traité à fond, en réfutant Buffon, dans ses *Lettres sur l'histoire de la Terre, Part. XI. Lett.* 141 *et* 144.

moins le sens que présentent toutes ses expressions *. Si cela étoit, il faudroit ou que cette petite chaleur solaire fût toute condensée sur un tems très-court exempt de perte, ou que dans tous les instans la terre se refroidît. Mais la considération du rapport entre la chaleur des caves et celle de l'été prouve que dans cette saison la terre s'échauffe : il faudroit donc que le rapport des chaleurs solaires d'été et d'hiver fût infini sensiblement, et il faudroit de plus que la perte de chaleur propre de la terre cessât ou diminuât infiniment pendant l'été. Toutes suppositions qui répugnent non-seulement au calcul et aux lois de la nature, mais aux principes adoptés par Buffon lui-même. Si l'on suppose un fer rouge plongé dans un espace au-dessous de zéro, un corps à zéro placé dans le voisinage du fer rouge pourra bien retarder son refroidissement, mais il ne l'échauffera pas ; le thermomètre qui mesure la chaleur du fer baissera constamment.

§. 255. Ce premier vice de raisonnement altère toutes les conclusions de Buffon. Mais il est une multitude d'autres circonstances qui les rendent singulièrement hasardées. Cet observateur a été privé, dans ses expériences sur

* *Hist. nat. Suppl.* T. IV. édit. in-8.° et ailleurs.

le refroidissement des corps, d'un instrument précieux qui les eût rendues exactes et par-là même intéressantes indépendamment de toutes les applications qu'il en a faites. L'instrument dont je veux parler est le thermomètre de Wedgwood. Les termes de chaleur rouge ou blanche, substitués à l'indication des degrés de ce thermomètre, rendent incertain le point de départ et par conséquent le résultat même de l'expérience.

§. 256. Enfin Buffon (se croyant étayé de l'autorité de Newton) a estimé le refroidissement d'un corps plongé dans le vide (comme le sont les planètes), par le refroidissement d'un corps environné d'air et d'autres corps chauds (comme l'étoient nécessairement ses boulets rouges). Or cette comparaison ne paroît pas juste. 1.° Les corps entourés d'autres corps se refroidissent principalement par la perte du feu gêné, qui passe de l'un à l'autre en raison de leur conductibilité et de leur capacité; au lieu qu'un corps plongé dans le vide ne se refroidit que par l'émission de la chaleur rayonnante. 2.° Le corps plongé dans le vide perd sans rien recevoir en échange, au lieu que le boulet entouré d'autres corps en reçoit de la chaleur. Il est vrai qu'il ne faut considérer ici que l'excès de chaleur du boulet;

mais

mais à mesure qu'il perd de cet excès, les corps voisins en gagnent, d'où il arrive que leur échauffement et son refroidissement deviennent plus lents (§. 48.). Il suit de là, si je ne me trompe, que les indications relatives à la durée du refroidissement que peuvent donner de telles expériences, appliquées aux corps planétaires, sont tout-à-fait hasardées.

§. 257. Il n'y a donc pas lieu d'avoir confiance à la théorie sur laquelle est fondée l'opinion du refroidissement graduel de la terre, et encore moins aux calculs de la durée de ce refroidissement. Si cette opinion est juste il faut lui donner d'autres bases. Mais du moins est-il sûr que ce n'est point un refroidissement constant, puisque l'été il se change en échauffement. Considération importante, en ce qu'elle tend à présenter le rapport des chaleurs tertestre et solaire sous son vrai point de vue (§. 220). Je dirai un mot des résultats de l'observation dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IX.

De l'échauffement et du refroidissement du globe terrestre, envisagés dans leurs effets combinés.

§. 258. L'EFFET de la chaleur solaire pour échauffer l'emporte en été ; l'effet de la chaleur rayonnante pour refroidir l'emporte en hiver. Si la terre n'a point de chaleur propre qu'elle ne l'ait empruntée du soleil, et si elle a atteint le terme de cette accumulation, sa chaleur moyenne est constante. Mais la connoissance certaine de l'existence d'une chaleur propre a porté plusieurs physiciens à croire que cette chaleur propre avoit une autre origine. Mairan déclare qu'il ne prétend point déterminer cette origine, mais il ajoute : « Ce n'est » pas que l'opinion d'un feu véritablement » central, et peut-être de même nature que » celui du soleil, en un mot, que le petit » soleil *encroûté* de Descartes, bien entendu, » ne me paroisse aussi soutenable qu'aucune » autre hypothèse de cette espèce, et ne » semble percer ici de toutes parts *. »

* *Mém. de l'Acad. de Paris* 1765, p. 149.

Buffon rejette ce soleil encroûté, et y substitue l'hypothèse d'une chaleur primitive; il la dérive de l'origine des corps planétaires, qu'il suppose avoir été détachés du soleil par le choc d'une comète.

§. 259. Le peu de profondeur à laquelle pénètre la chaleur du soleil pendant le cours d'une année s'est jointe à la considération de sa foible intensité apparente, pour combattre l'opinion de ceux qui vouloient attribuer la chaleur propre de la terre à l'accumulation de la chaleur solaire; car, comme cette cause est très-manifeste, si elle avoit paru suffisante, on s'y seroit attaché. Et comme, en l'envisageant seule elle doit produire une chaleur constante; on auroit probablement moins penché, en faveur des hypothèses, qui la supposent croissante ou décroissante. Il me paroît utile par ces considérations de ramener un instant l'attention des physiciens sur les vrais effets de l'accumulation de la chaleur solaire dégagés de toute autre influence.

§. 260. Une expérience curieuse d'H. B. Saussure prouve, qu'avec quelques précautions, on peut accumuler à un très-haut degré la chaleur solaire. Ce célèbre physicien en exposant au soleil des boîtes de verre, plan, enfermées les unes dans les autres et reposant

sur un fond noir, concentra tellement la chaleur, qu'elle suffit pour cuire des fruits, et que par conséquent elle surpassa de beaucoup l'effet immédiat des rayons solaires *.

§. 261. Mais il est une expérience plus commune que je ne craindrai pas de rappeler ici, quoiqu'elle soit tirée d'un objet fort peu propre en apparence à servir de terme de comparaison dans des recherches de cette nature. Des viandes mises à la broche et qu'échauffe le feu d'un foyer présentent tour-à-tour à ce feu diverses parties de leur surface. Faisant abstraction de l'air ambiant, elles sont dans une position analogue à celle où se trouve la terre par rapport au soleil. Elles s'échauffent par les rayons du foyer, elles se refroidissent par le rayonnement. L'effet d'une ou de deux rotations est petit et presqu'insensible. Il faut du tems pour que le feu pénètre. Mais enfin il sature toute la masse et la maintient à un certain degré de chaleur, qui est produit par

* *Voyages dans les Alpes*, T. II, §. 933. H. B. De Saussure s'exprime d'ailleurs de manière à laisser voir qu'il regarde la chaleur solaire comme la principale cause de la chaleur intérieure de la terre. *Voyage dans les Alpes*, T. I, §. 532, et T. II, §. 787. Et Mr. Senebier embrasse la même opinion. *Journ. de Phys. mars*, 1791, p. 177.

l'effet des deux causes contraires parvenues à leurs maxima.

A cette époque, si des êtres intelligens (d'une grandeur proportionnée), placés à la surface de ce corps, pouvoient y observer les degrés de sa température; ils ne tarderoient pas à reconnoître que leur terre (si je puis m'exprimer ainsi) jouit d'une chaleur propre, actuellement indépendante de celle du foyer : car ils reconnoîtroient que la différence de température de leur jour à leur nuit n'est pas très-grande. Ils s'assureroient ensuite, que les rayons du foyer pénètrent très-peu au-delà de la première écorce de leur terre, pendant l'espace d'une seule rotation. Et la raison de ce phénomène tient à celui qu'ils auroient précédemment déterminé, je veux dire à la chaleur propre de leur terre. Car cette chaleur intérieure, étant gênée, se dissipe la nuit très-lentement; la première écorce seule se dépouille de feu. Et c'est de ce feu-là seul, remplacé par l'action du foyer, que le thermomètre rend compte. Le feu plus intérieur se soutenant par voie d'échanges toujours à peu près au même niveau, paroît n'éprouver presque aucune altération. Ainsi ces observateurs auroient à peu près les mêmes apparences thermométriques qu'offre la surface de la terre, et toutefois ils auroient

tort d'en inférer que la chaleur de leur habitation est indépendante de celle du foyer. Car elle procède toute du foyer, et s'il venoit à s'éteindre, elle se dissiperoit tout-à-fait.

Je ne prétends pas, par ces raisonnemens, exclure toutes les causes d'échauffement indépendantes de l'action des rayons solaires, ni affirmer que celle-ci ait amené le point déterminé auquel la terre doit être douée d'une temperature constante *. J'indique seulement la possibilité de ces deux faits, à laquelle il me semble qu'on doit s'en tenir, jusqu'à ce qu'on ait des indices certains de l'action de quelqu'autre cause.

§. 262. Voici maintenant quelques résultats d'observation touchant l'état de la chaleur propre de la terre.

---

* Je ne veux point dire non plus que la chaleur solaire pénètre toute la masse de la terre. Les expériences d'H. B. de Sausure ont prouvé que la chaleur d'été emploie six mois à pénétrer à la profondeur de 30 pieds et n'y pénètre que fort peu. Celles de Mr. Biot font voir que, dans une barre de fer, une chaleur très-forte pénètre peu. Il est vrai que l'air ambiant la dissipe. Il semble résulter des observations de Mr. Péron que dans la profondeur des mers la chaleur diminue. Quoiqu'il en soit, il y a un point jusqu'auquel le sol s'échauffe.

Table de la chaleur moyenne à Padoue.

	Degrés de Réaumur.
De 1725 à 1730	14,4
1731 - 1736	14,2
1737 - 1742	13,2
1743 - 1748	13,0
1749 - 1754	12,2
1755 - 1760	12,5
1761 - 1769	11,5
1770 - 1774	10,3
1775 - 1779	9,8

Cette table donnée par Toaldo *, telle que je la présente, semble indiquer un décroissement de chaleur graduel d'environ un dixième de degré par année. La fin de cette table offre un léger désordre. Les moyennes sont prises de six en six ans jusqu'à l'année 1761, où on en accumule neuf; puis on n'en réunit que quatre dans les deux suites subséquentes. Du reste on voit que, pendant ces cinquante-quatre années-là, à Padoue la surface de la terre s'est refroidie graduellement. Les hivers ont enlevé au sol un peu plus de chaleur que les étés ne lui en ont communiqué.

* *Essai météorologique, p.* 173.

§. 263. *Table de la chaleur moyenne à Berlin pendant dix-huit années consécutives.*

Années.	Degrés de Réaumur.	Moyennes de trois ans.	Moyennes de six en six ans.
1769	7,6		
1770	7,6		
1771	6,5	7,2	
1772	8,0		
1773	8,5		
1774	7,8	8,1	
1775	8,7		7,7
1776	7,2		
1777	7,4	7,8	
1778	8,4		
1779	9,7		
1780	7,7	8,6	
1781	8,9		8,2
1782	7,4		
1783	8,4	8,2	
1784	7,2		
1785	6,5		
1786	7,1		
Moyenne.	7,8	6,9	7,7

Cette table extraite des *Mémoires de l'Académie de Berlin* présente un résultat différent de la précédente. On y voit la chaleur croître et décroître alternativement. Et dans ce lieu-là on peut présumer que la chaleur moyenne est constante. Car les causes accidentelles qui

produisent ces variations alternatives doivent être négligées.

§. 264. *Table de la chaleur moyenne à Franeker pendant douze années consécutives.*

Années.	Degrés de Réaumur.	Moyennes de trois en trois ans.	Moyennes de six en six ans.
1771	7,6		
1772	9,1		
1773	9,1	8,6	
1774	8,8		
1775	9,5		
1776	7,5	8,6	8,6
1777	8,1		
1778	9,0		
1779	10,0	9,0	
1780	8,5		
1781	*		
1782	7,4	8,3	8,6
1783	8,9		

Ces observations de Van Swinden, tirées des *Mémoires de météorologie* du P. Cotte, T. II, p. 345, indiquent aussi une chaleur stationnaire. Les observations de l'année 1781, ne se trouvant pas complettes, n'ont pu fournir de moyennes.

§. 265. *Table de la chaleur moyenne à Marseille pendant neuf années.*

Années.	Degrés de Réaumur.	Moyennes de deux en deux ans.	Moyennes de quatre en quatre ans.
1772	12,8		
1773	11,8	12,2	
1774	11,8		
1778	11,2	11,5	
1779	10,4		11,9
1780	10,7	10,5	
1781	12,0		
1782	13,3	12,6	
			11,0

Ces observations, faites par Mr. De Saint-Jacques, et consignées dans les *Mémoires de météorologie* du P. Cotte, T. II. p. 420, offrent le même résultat.

§. 266. *Table de la chaleur moyenne à Pétersbourg pendant sept années consécutives.*

Années.	Degrés de Réaumur.	Moyennes de deux en deux ans.
1772	3,5	
1773	3,3	3,4
1774	2,6	
1775	3,4	3,0
1776	2,9	
1777	2,1	2,5
1778	2,6	

Ces observations de Mr. Euler, consignées dans les *Mémoires de l'Académie de Pétersbourg*, sont extraites ici des *Mémoires de météorologie du P. Cotte, T. II. p.* 505. Elles indiquent aussi une chaleur constante, puisque les degrés croissent après avoir décrû.

§. 267. On est porté en conséquence à attribuer à quelque cause locale la marche décroissante de la chaleur à Padoue *. Et il semble que ce phénomène ne peut pas suffire pour étayer la doctrine du refroidissement de la terre, puisqu'en d'autres lieux la chaleur paroît stationnaire.

En général, et quel qu'ait été l'état primitif du globe terrestre, soit qu'il ait commencé par être chaud, soit qu'avant l'irradiation solaire il fût absolument froid; il y a lieu de croire que son existence a été assez longue dans l'état planétaire où nous l'observons, pour parvenir au terme où sa chaleur moyenne doit être stationnaire.

Le froid rigoureux que produisent les longues

* N'y a-t-il point lieu même de soupçonner quelqu'imperfection dans les instrumens, qui aura pu occasionner l'accroissement apparent de chaleur, comme le P. Cotte en a découvert dans des baromètres qui sembloient indiquer un accroissement de pesanteur dans l'air? *Traité de météorologie, p.* 379 *et* 606.

nuits dans les climats circonpolaires (malgré leur communication avec des climats plus chauds, soit par la terre, soit par la mer, soit surtout par l'atmosphère) confirme bien cet aperçu.

SECTION XI.

DE LA CHALEUR RELATIVE DES DEUX HÉMISPHÈRES DU GLOBE TERRESTRE, OU DU FROID AUSTRAL.

CHAPITRE I.

De l'effet de la distance du soleil sur les deux hémisphères de la terre.

§. 268. Au solstice du cancer la distance de la terre au soleil est près de son maximum, lequel est vers le premier juillet de 101683 parties.

Au solstice du capricorne cette distance est près de son minimum, lequel est vers le premier janvier de 98325 parties.

Ces parties sont des cent-millièmes de la distance moyenne.

Le rapport de ces deux distances extrêmes n'est pas fort éloigné de celui de 30 à 29. Et leur différence absolue est environ un million de lieues.

Le rapport des carrés de ces distances extrêmes est à peu près celui de 15 à 14. Ainsi le

rapport de la densité des rayons solaires à ces deux époques est celui de 14 à 15. Et dans les jours qui précèdent et qui suivent, cette densité soutient un rapport analogue et toujours décroissant.

Quoique les époques de ces distances extrêmes ne tombent pas exactement sur les solstices, elles en sont si voisines qu'on peut les y rapporter sans commettre d'erreur sensible.

§. 269. Le solstice du cancer est l'été de l'hémisphère boréal, l'hiver de l'austral. Le solstice du capricorne est l'hiver du premier, l'été du second.

L'effet de la différente distance solsticiale du soleil sur la chaleur relative de ces hémisphères est donc de rendre l'été boréal moins chaud, et l'hiver boréal moins froid, que ces mêmes saisons australes respectivement.

Or la chaleur solaire estive étant plus grande que la chaleur solaire hiémale dans un rapport très-sensible; l'excès de chaleur pendant l'été, résultant d'un rapport donné (tel que celui de 15 à 14), doit être supérieur à celui d'hiver qui résulte du même rapport.

A cet égard donc, et abstraction faite de toute autre considération, celui des deux hémisphères qui a l'été le plus chaud devroit acquérir une température plus élevée, quoique ses hivers

soient moins chauds. Or c'est l'austral qui est dans ce cas-là. Cet hémisphère seroit donc un peu plus chaud que l'autre, si la raison des distances au soleil modifioit seule la température de notre globe.

§. 270. C'est ce qu'a bien vu De Mairan, qui s'étant déterminé (à la vérité trop légèrement) à exclure d'autres considérations qui modifient celle-ci, s'est montré conséquent en concluant que, si la différence de distance avoit un effet sensible, elle devroit rendre l'hémisphère austral plus chaud que le boréal.

Il fait voir que la conversion des étés et hivers solaires d'un hémisphère en ceux de l'autre, consiste à augmenter pour l'austral le rapport de ces deux saisons de l'influence de ces différentes distances au soleil. Et il remarque là-dessus, « que la quantité dont les étés solaires » de l'hémisphère austral sont plus grands que » ceux du boréal, surpassera toujours celle » dont les hivers sont plus petits ou plus froids, » et cela selon une raison qu'il tâche de déterminer *.

Il répète la même remarque avec de nouveaux détails à la fin du même mémoire; mais

* *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris pour 1765, p. 174.*

il juge que ce léger excès de chaleur australe doit être insensible *.

§. 271. C'étoit donc bien légèrement que d'autres physiciens, cités par Æpinus, ne considérant point (non plus que de Mairan) les moyens de compensation par lesquels la nature combat l'influence de cet élément, prétendoient néanmoins que, par le seul effet de la moindre distance hiémale, l'hémisphère boréal devoit contracter un excès de chaleur.

Je ne sais pas quels sont ces physiciens qu'Æpinus désigne sans les nommer. Mais il les réfute sans beaucoup de peine par la considération de la plus grande distance estive. « Car, dit-il, on peut démontrer aisément » que la nature répare avec usure pendant » l'été la perte qu'elle a fait éprouver l'hiver » aux régions australes **. »

Æpinus ne développe pas davantage cet argument; mais on ne peut douter qu'il n'en sentît toute la force. Du reste, il paroît croire que cet effet de la distance est insensible, et il le néglige entièrement.

* Ibid. p. 234.

** *Cogitationes de distributione caloris per tellurem.*

CHAPITRE II.

De l'effet de la durée des saisons froides et chaudes sur la chaleur relative des deux hémisphères de la terre.

§. 272. FAISANT donc abstraction totale de la distance du soleil, Æpinus s'arrête à la considération de la durée des saisons froides et chaudes.

Dans l'hémisphère boréal, celles-ci surpassent celles-là de huit jours. Ainsi, à compter l'année de trois cent soixante-cinq jours, on peut dire que le rapport des jours chauds du boréal aux jours chauds de l'austral est celui de $186\frac{1}{2}$ à $178\frac{1}{2}$, ou de 23 à 22 à peu près; et la chaleur de ces deux hémisphères doit être dans le même rapport; car les effets des forces, toutes choses d'ailleurs égales, sont proportionnels aux tems *.

§. 273. De Mairan s'étoit bien aperçu que la durée des saisons froides et chaudes devoit

* Æpinus estime ce rapport de 14 à 13, parce qu'il établit la durée des étés boréal et austral de $189\frac{1}{2}$ et de $175\frac{1}{2}$ jours. J'ai cru devoir ici corriger cette inadvertence.

produire quelque effet sur la chaleur solaire. Il avoit bien remarqué que dans le tems où la distance du soleil est la plus grande, la terre se mouvant plus lentement dans son orbite (et réciproquement), devoit avoir, là plus, et ici moins, de tems pour recevoir et absorber les rayons lumineux.

« Remarquons, dit-il, que de ces mêmes » distances, qui constituent ce troisième élé- » ment *, naît en partie un autre principe » de chaleur tout opposé, et qui semble devoir » tempérer les effets du précédent; savoir, la » lenteur et la vitesse réciproques du mouve- » ment annuel apparent, en vertu duquel, et » du réel qui s'y mêle, le soleil emploie huit » jours de plus à parcourir les signes septen- » trionaux; c'est-à-dire, que le soleil passe » 186 $\frac{1}{2}$ jours dans notre hémisphère, et seu- » lement 178 $\frac{1}{2}$ dans l'hémisphère opposé: ce » qui, en général, ne peut manquer de ré- » pandre un peu plus de chaleur sur l'été du » premier, et un peu moins sur son hiver. » Mais comment apprécier la partie de ce plus » et celle de ce moins qui tombent sur les jours » solsticiaux, auxquels seuls nous faisons at-

* Voyez ci-dessus ce que Mairan entend par son troisième élément (§. 229.).

» tention et en déterminer le rapport avec les » autres causes; car il se mêle ici des circons- » tances astronomiques, telles que la longitude » et l'ascension droite, qui peuvent en altérer » considérablement la distribution. Il paroît » seulement au premier coup-d'œil, que le » résultat en sera bien inférieur à l'énergie de » notre troisième élément en raison doublée. »

Ici de Mairan cherche à confirmer cette assertion par l'estimation approximée de l'influence que peut avoir cette différence de durée, et il conclut par ces mots : « De ma- » nière que tout considéré, et vu en effet » la petitesse de ces quantités, je n'aurai ici » aucun égard aux huit révolutions de plus » que fait le soleil dans notre hémisphère, » relativement au jour du solstice *. »

De Mairan estime les chaleurs d'été et d'hiver, en les rapportant aux jours solsticiaux; et il y fait entrer les autres jours en doublant le rapport des arcs semi-diurnes (§. 229.). Ainsi la négligence que ce physicien commet ici à dessein ne se borne pas aux jours solsticiaux, mais s'étend à toute la durée des saisons froides et chaudes. Et il est facile de voir que les raisons

* *Mémoires de l'Acad. des Sciences de Paris pour* 1765, *p.* 166.

qu'il donne pour autoriser cette négligence se réduisent à deux, la petitesse de l'effet négligé et la difficulté d'en tenir compte.

§. 274. Il est remarquable que deux philosophes, tels qu'Æpinus et Mairan, écrivant sur le même sujet presqu'au même instant *, se soient accordés en ceci, que tous deux ont cru pouvoir légitimement négliger l'une des deux considérations, qui influent sur l'intensité relative des rayons solaires, que reçoivent les deux hémisphères de la terre, en allant d'un équinoxe à l'autre, ou en parcourant 180° de l'écliptique sous le même aspect ; savoir, la distance du soleil et le tems employé à parcourir ces 180 degrés. Et il n'est pas moins remarquable que chacun d'eux néglige l'élément, dont l'autre croit devoir tenir compte.

Buffon ne s'est pas aperçu de ce dissentiment, et a suivi ces deux auteurs avec une confiance presqu'égale, soit expressément, soit tacitement.

---

* La dissertation d'Æpinus *de distributione caloris* etc., fut lue à l'Académie de Pétersbourg en 1761. Le mémoire de Mairan intitulé : *Nouvelles recherches sur la cause générale du chaud en été et du froid en hiver*, etc., fut lu à l'Académie des Sciences de Paris en 1757, et publié dans les mémoires de cette Académie pour 1765.

CHAPITRE III.

De l'effet combiné du tems et de la distance sur la quantité de l'irradiation solaire.

§. 275. AINSI les physiciens ne sembloient pas s'apercevoir que les deux quantités dont ils s'occupoient, la distance et la durée, devoient être prises l'une et l'autre en considération.

Lambert * les a combinées et en a déduit la proposition suivante.

THÉORÈME.

§. 276. *La quantité de chaleur, que la terre, ou en général une planète, reçoit du soleil, croît proportionnellement à l'anomalie vraie.*

DÉMONSTRATION.

En effet, soit S, le soleil; T, la terre; Fig. 3.
Tt, un petit élément de l'orbite elliptique que la terre décrit; A, l'aphélie.

La densité des rayons en T est $= 1 : ST^2$.
Et le tems par l'élément Tt est proportionnel

* Pyrométrie, §§. 588. 589.

à l'aire TSt, par conséquent $\frac{1}{2} ST^2 . d\phi$; (ϕ étant l'anomalie TSA). Ainsi la quantité des rayons est $= \frac{1}{ST^2} \cdot \frac{1}{2} ST^2 . d\phi = d\phi$.

On voit par-là, ajoute Lambert, que lorsqu'il s'agit de l'échauffement annuel de la terre, au lieu du tems, on peut employer l'anomalie vraie, ou la longitude vraie. Par-là on élimine la distance variable et on simplifie le calcul. Cette inégalité pour la terre est trop petite pour être prise en considération. Pour les comètes c'est autre chose. Car le tems pour l'anomalie de 180° est pour elles quelques semaines. Et elles prennent la même chaleur que dans les autres. Et pour Mercure le rapport est de $32\frac{5}{7}$ à $55\frac{1}{2}$ jours *.

§. 277. Ce théorème s'applique immédiatement à la considération des saisons froides et chaudes, telles que les concevoient Æpinus et Mairan, puisque d'un équinoxe à l'autre il y a de chaque côté 180° de l'écliptique. Par conséquent d'un équinoxe à l'autre, la terre reçoit d'égales quantités de lumière.

§. 278. Il est à remarquer que la démonstration de ce théorème, étant fondée sur la loi des aires, est très-générale. Elle s'applique

* Voyez à la fin la note G.

non-seulement à la terre, aux planètes, aux comètes ; mais elle s'applique à toute loi de forces centrales : si, par exemple, on substituoit à l'attraction neutonienne, une attraction en raison inverse des cubes des distances ; les corps circulans, décrivant en ce cas des spirales, seroient néanmoins compris dans la démonstration. En sorte que, à toute distance, quelle que soit la loi sous laquelle se meuvent les corps agités de forces centrales, tant qu'ils décrivent des angles d'anomalie égaux, ou en d'autres termes, des arcs égaux du cercle sur lequel leur orbite se projette ; ils ne cessent point de recevoir du soleil central d'égales quantités de lumière. Les comètes les plus éloignées, comme le remarque Lambert, en reçoivent autant, pendant qu'elles parcourent la portion aphéliaque de leur orbite, que pendant leur périhélie ; pourvu que ces deux portions soient l'une et l'autre de 180° de longitude héliocentrique vraie.

§. 279. Ces résultats, envisagés dans leur généralité, peuvent avoir des conséquences importantes. Je me borne à les appliquer à la terre, et je vais m'en servir pour déterminer la chaleur relative de ses deux hémisphères.

CHAPITRE IV.

De la chaleur relative constante des deux hémisphères terrestres, envisagés comme séparés.

§. 280. L'OPINION de quelques physiciens, touchant l'effet de l'inégale distance du soleil (§. 271), et celle d'Æpinus touchant l'effet de l'inégale durée des saisons (§. 272.), étoient donc également destituées de fondement. Ces physiciens et Æpinus croyoient également, que la cause dont ils s'occupoient devoit rendre plus abondante l'irradiation solaire sur l'hémisphère boréal; et nous venons de voir que cette irradiation est rigoureusement égale pour les deux hémisphères; car d'un équinoxe à l'autre le soleil répand sur la terre précisément la même quantité de lumière. Or, comme les deux hémisphères se présentent au courant lumineux tour-à-tour dans deux positions, ou sous deux aspects, parfaitement semblables, il ne peut y avoir aucune disparité dans la partie de ce courant qu'ils interceptent.

Puis donc que les deux hémisphères reçoivent la même quantité de chaleur solaire, s'il y a

entr'eux quelque différence quant à la température, provenant de la distribution de cette chaleur, elle ne peut dépendre que de la chaleur rayonnante. Il faut donc examiner maintenant l'effet de ce rayonnement sous ce point de vue.

PROBLÈME.

§. 281. *Deux sources de chaleur coulant uniformément, et commençant au même instant, versent dans deux corps pareils, des quantités égales de chaleur; mais l'une y emploie moins de tems que l'autre. On demande lequel de ces deux corps sera le plus chaud à une certaine époque postérieure à l'extinction des deux sources.*

SOLUTION.

Puisque ces deux sources versent d'égales quantités de chaleur en tems inégaux, il faut que les quantités qu'elles versent dans un même instant, ou leurs *incrémens*, soient inversement comme leurs durées.

Considérant donc la quantité versée par la moins durable à l'époque où elle tarit, il est facile de concevoir que cette quantité est composée de deux parties, dont l'une est égale à celle qu'a versée à la même époque la source

qui n'est pas encore tarie, et l'autre est égale à ce qui reste encore à verser à celle-ci avant qu'elle tarisse.

De ces deux parties l'une étant la même dans les deux sources, et versée de part et d'autre en même tems et de la même manière, ne peut jamais produire entr'elles aucune diversité.

L'autre partie est à la vérité égale dans les deux sources, mais les incrémens dont elle est formée dans chacune sont inégaux, étant pour la plus durable les mêmes que ci-devant, et pour la moins durable la différence de ceux qui étoient inversement proportionnels aux tems.

Supposant ces incrémens inégaux commensurables entr'eux *; qu'on les divise dans leurs aliquotes communes, et l'on verra que, dans la source qui dure le moins, chaque aliquote est versée plus tôt qu'aucune aliquote de l'autre source. Ainsi chacune des premières éprouvera une plus grande perte par l'effet du rayonnement qu'aucune des dernières. Mais la totalité de ces aliquotes est la même de part et

* Il est si facile et si long de passer des commensurables aux incommensurables que je supprime ce détail.

d'autre. Par conséquent la chaleur versée par la source qui dure le moins sera plus diminuée que l'autre, lorsque toutes deux auront cessé de couler.

Donc enfin, le corps soumis à l'influence de la source qui dure le plus se trouvera plus chaud à cette époque, et par conséquent à toute autre subséquente.

Ce qu'il s'agissoit de déterminer.

PROBLÈME.

§. 282. *Conservant les mêmes déterminations, on demande de résoudre le même problème, en supposant que les deux sources ne coulent pas uniformément, mais que pendant toute leur durée il n'y ait qu'un seul instant où l'incrément de l'une soit égal à celui de l'autre* *.

---

* J'ai évité de charger l'hypothèse de certaines déterminations si naturelles que tout lecteur les supplée, et qui ne se rapportent qu'à des cas très-particuliers. Je vais les indiquer ici.

1.° Je suppose les sources continues.

2.° L'incrément d'une source est dit être *égal* à celui de l'autre source au même instant, lorsque, l'instant qui suit, les incrémens ont changé de rapport en passant par celui d'*égalité*, en sorte que la source qui

SOLUTION.

Puisque l'origine des deux sources est placée au même instant, et que dans leurs durées inégales elles versent d'égales quantités de chaleur, il faut que la moins durable soit celle dont les premiers incrémens sont les plus grands, ou qu'il y ait deux instans où l'incrément d'une source égale celui de l'autre. Mais ce dernier cas est exclu par l'hypothèse ; ainsi c'est le premier qui doit être admis.

Puisque la source, qui a les moindres incrémens à l'origine, est celle qui dure *le plus*; il y a nécessairement un instant, dans leur commune durée, auquel l'incrément de l'une égale celui de l'autre.

Et à tout instant subséquent, l'incrément de la source la plus durable est plus grand que celui de l'autre source (*hyp.*).

---

au premier instant avoit le plus grand incrément, au second instant se trouve avoir le plus petit.

3.° Dans le cas où l'égalité seroit supposée avoir lieu sous la forme que je viens d'indiquer, si elle tomboit sur le dernier instant de l'existence de la source la moins durable, on conçoit que l'instant d'après l'incrément de cette source étant nul, l'incrément de l'autre seroit plus grand; c'est ainsi que pour ce cas-là la définiton de l'égalité trouveroit son application.

Il suit de là qu'on peut considérer la chaleur versée de part et d'autre, comme composée de deux parties; dont l'une est exactement la même dans chaque source, soit pour la quantité, soit pour la distribution et l'époque de chacun de ses incrémens. L'autre partie dans chaque source est la même en quantité, mais peut différer quant à la distribution, et diffère quant à l'époque.

Car dans la source moins durable, elle est placée avant, et dans la source plus durable, après l'instant où ces deux sources ont un incrément égal.

Concevons chaque incrément de ces parties dissemblables divisé en un certain nombre d'aliquotes égales. Et puisque les deux parties sont égales en quantité, elles en contiendront chacune un même nombre, et chacune de ces aliquotes exécutera le même rayonnement en tems donné. Mais toutes les aliquotes qui appartiennent à la source la moins durable sont versées plus tôt qu'aucune des aliquotes de l'autre source. Donc leur perte sera plus grande à l'époque où celle-ci tarit et à toute autre postérieure.

Donc enfin, à cette époque-là, le corps soumis à l'influence de la source la plus durable sera le plus chaud.

Ce qu'il falloit déterminer.

§. 283. Le problème du §. 281. pourroit également se résoudre sans diviser la chaleur versée de part et d'autre en ses parties semblables et dissemblables. C'est ainsi que je l'avois fait d'abord; et il suffit pour cela de comparer les suites qui expriment la chaleur acquise de part et d'autre à l'epoque qu'on détermine; mais cette méthode conduit à des calculs assez compliqués.

Je dois l'heureuse idée qui les simplifie à Mr. De Végobre. C'est ce même philosophe qui aperçut le premier l'insuffisance des théories vulgaires pour expliquer le phénomène de la réflexion du froid, et dont les remarques furent l'occasion de mes premières recherches à ce sujet (§. 7. page 14.).

§. 284. Dès que la source s'éteint, la chaleur qui reste dans le corps aux instans subséquens peut être représentée par les ordonnées d'une logarithmique. Pendant que la source coule, on peut comparer la chaleur entrante à une vitesse qui croît uniformément, *et la* chaleur sortante à une résistance simplement proportionnelle à la vitesse. C'est donc à ce dernier égard un cas qui a quelque analogie avec celui que traite Newton, *Princip. L. II. Prop.* 3. *et* 2.

On pourroit aussi démontrer les propositions des §§. 281. 282. au moyen du raisonnement suivant.

Tant que la source hâtive coule, le corps qui la reçoit est celui qui rayonne le plus. Et depuis l'extinction de cette source, jusqu'à celle de la source tardive, il rayonne, ou autant, ou plus, ou moins, que l'autre corps. S'il rayonne autant ou plus, il est évident que sa perte totale est plus grande; et s'il rayonne moins il est un instant où sa chaleur interne est moindre (§. 31.). Or il n'acquiert rien. Donc cette chaleur interne se maintiendra moindre constamment, et entr'autres elle arrivera telle à l'époque indiquée*.

THÉORÈME.

§. 285. *L'influence solaire échauffe l'hémisphère boréal plus que l'austral.*

DÉMONSTRATION.

Faisons abstraction de l'influence solaire d'hiver, et ne considérons de part et d'autre que celle d'été qui a lieu d'un équinoxe à l'autre.

---

* Voyez à la fin la note H.

1.° Chaque hémisphère décrivant 180° de l'écliptique reçoit d'égales quantités de chaleur en tems inégaux (§§. 276. 277.).

2.° Cette chaleur est versée de part et d'autre selon la loi indiquée dans l'hypothèse du §. 282, comme je le ferai voir au §. suivant.

Donc à l'époque où cessera la source la plus durable, le corps soumis à son influence sera le plus chaud (§. 282.).

Mais c'est l'hémisphère boréal qui est dans ce cas (§. 272.).

Donc enfin, en vertu de l'influence du soleil d'été, l'hémisphère boréal sera plus échauffé que l'austral.

Il est vrai qu'en vertu du soleil d'hiver, le contraire aura lieu.

Mais le soleil d'été surpasse beaucoup en intensité le soleil d'hiver.

Donc le boréal sera échauffé par l'excès de l'échauffement d'été sur celui d'hiver, résultant de la circonstance que nous venons d'analyser.

Et comme ceci se répète chaque année, il doit enfin y avoir une chaleur relative constante plus grande dans l'hémisphère boréal.

Remarque.

§. 286. J'ai dit que la chaleur estive, versée de part et d'autre par le soleil, se conforme à

la

la loi indiquée dans l'hypothèse du §. 282, c'est-à-dire, 1.° que cette chaleur n'est pas versée uniformément, mais 2.° qu'elle l'est d'une manière continue, et que 3.° dans toute la durée de ces deux sources de chaleur, en leur supposant une origine commune, on ne peut trouver qu'un seul instant où l'incrément de l'une égale celui de l'autre.

Ce troisième point seul peut, au premier coup-d'œil, causer quelque difficulté; mais on en reconnoîtra la nécessité, en considérant l'uniformité et la ressemblance de la cause qui agit d'une part, et de la cause qui agit d'autre part, pour produire les incrémens de chaleur et leurs différences.

A l'origine, le soleil austral fournit jusqu'au milieu de son été des incrémens continuellement croissans, et constamment plus grands à un même instant que ceux du soleil boréal.

Du milieu de l'été austral jusqu'à sa fin, les incrémens du soleil austral diminuent constamment; ceux du boréal augmentent encore quelque tems; et (soit dans le cours de cet accroissement, soit après) il arrive un instant où l'incrément austral égale le boréal; car celui-ci subsiste après que l'autre est évanoui.

Dès cet instant d'égalité, il est impossible d'imaginer un autre instant où l'incrément aus-

tral égale le boréal ; car le premier a des progrès de diminution plus rapides que le second (peut-être même que celui-ci croît encore quelque tems, tandis que l'autre décroît).

Ainsi, à tous égards, l'influence du soleil d'été, austral et boréal, est soumise à la loi de l'hypothèse du §. 282.

§. 287. Pour rendre cet effet sensible, on peut tracer deux courbes, dont les aires représentent les chaleurs d'été versées par le soleil sur chaque hémisphère, et qui, ayant une commune origine et une même ligne des abscisses, présentent d'une manière *intuitive* le résultat des précédens raisonnemens.

FIG. 4. La ligne *AB* est le tems employé par la terre à parcourir les six premiers signes, de l'équinoxe du belier à celui de la balance, soit la durée de l'été boréal. Et les divisions marquées sur cette ligne par de petits traits *inférieurs* (entre lesquels se trouvent compris les six premiers signes) indiquent par leur longueur le tems employé à décrire chaque signe.

De même, la ligne *AC* est le tems de la balance au belier, soit l'été austral. Et les divisions indiquées par les traits *supérieurs* expriment le tems correspondant à chacun des six derniers signes.

Dans chaque courbe, la première ordonnée

a été élevée à la fin de la première division. Et de l'une à l'autre courbe, le rapport de ces deux premières ordonnées a été fait inversement égal à celui des divisions auxquelles elles appartiennent. En sorte qu'on a $PO:po=Ap:AP$. Dans une seule et même courbe, les ordonnées aux extrémités de chaque division ont été faites proportionnelles à la déclinaison du soleil à l'instant auquel elles correspondent *.

Cette construction suppose 1.° que dans le cours d'un même signe du zodiaque, l'incrément de la chaleur solaire est constant, ou du moins croît et décroît uniformément. 2.° Que dans le cours d'un même été, soit austral soit boréal, d'un signe à l'autre, cet incrément est proportionnel à la déclinaison du soleil.

Cela posé, il est clair que la chaleur versée par le soleil pendant l'été sera mesurée par l'aire de ces courbes; savoir, pour l'hémisphère austral par *AODiC*, et pour le boréal par *AodiB*.

---

* L'été boréal est à peu près de 186 $\frac{1}{2}$ jours, l'austral de 178 $\frac{1}{2}$. Les divisions ou mois astronomiques, qui correspondent aux six premiers signes, sont en jours à peu près comme les nombres 31, 31, 31, 31$\frac{1}{2}$, 31, 31. Aux six derniers signes, comme 30, 30, 30, 29, 29$\frac{1}{2}$, 30. Telles sont les proportions que doit offrir la figure.

Ces courbes n'ayant qu'un point d'intersection, i, n'auront qu'un incrément commun, Ii. Elles sont composées d'une partie commune $AodiC$, et de deux parties dissemblables, mais égales; savoir, $AODidoA = CiB$. Tous les petits incrémens qui composent la première (laquelle appartient à l'hémisphère austral) sont placés dans le tems avant le point I, tandis que tous ceux qui composent la seconde (appartenant à l'hémisphère boréal) sont placés dans le tems après ce même point; d'où résulte pour la première un plus long rayonnement, et par conséquent un plus grand épuisement.

Cette représentation, quoiqu'imparfaite, est propre à donner une idée approchée de la marche du phénomène. Lorsqu'on fait abstraction de la durée des saisons et de la distance au soleil, tous les élémens qui influent sur la chaleur solaire dépendent de la déclinaison du soleil, et ont en même tems que celle-ci leur origine, leur accroissement, leur maximum, leur décroissement et leur fin. Or la construction de la première ordonnée supplée à la considération de la distance et du tems (§§. 276. 277.). Il suit de là que si nous avions sous les yeux les vraies courbes des chaleurs solaires d'été, australe et boréale; elles

s'entrecouperoient à peu près comme font celles-ci, c'est-à-dire, à peu près à la même époque, et elles n'auroient pas d'autres points d'inflexion. Ce qui suffit à notre but.

§. 288. Ainsi l'hémisphère boréal acquerra par l'influence du soleil, une chaleur relative constante, supérieure à celle de l'hémisphère austral (§. 285.). Et cette chaleur acquerra de part et d'autre son maximum, résultant de l'équilibre entre les chaleurs entrante et sortante. En sorte que leur état de température à cet égard sera précisément celui qui auroit lieu si ces hémisphères, détachés l'un de l'autre, décrivoient autour du soleil des orbites semblables, mais dont les distances moyennes fussent inégales, l'austral se trouvant un peu plus éloigné du foyer.

Cet effet nécessaire d'une cause mécanique bien reconnue, doit être considérable dans une planète dont l'excentricité est grande; mais il ne peut être nul dès qu'il y a quelqu'excentricité, quelque petite que soit cette quantité: et quant à notre terre, c'est un phénomène intéressant qui se lie à plusieurs branches de la philosophie naturelle, et qui peut être soumis au calcul, comme tous ceux qui dépendent des mouvemens des corps célestes.

CHAPITRE V.

Effet de la réunion des deux hémisphères.

§. 289. Les résultats précédens supposent les hémisphères détachés et sans communication mutuelle. Corrigeant cette fausse supposition, on reconnoîtra que la différence de température entre les deux hémisphères ne pourra pas être sensible au thermomètre dans les lieux voisins de la limite qui les sépare. Car l'équilibre entre les températures *voisines* s'y établit sensiblement, 1.° par le rayonnement du calorique; 2.° par les échanges lents et continuels du feu intérieur; 3.° par les grands mouvemens oscillatoires de ce feu intérieur lorsqu'il est très-condensé; 4.° par le mouvement des eaux; 5.° surtout par l'agitation de l'atmosphère; 6.° par l'influence de diverses causes locales agissant en divers sens, lesquelles n'étant point appréciées, et se mêlant à celle dont il s'agit, empêchent qu'on ne la distingue.

Ainsi les régions australes et boréales les plus éloignées entr'elles, c'est-à-dire, les régions circonpolaires, seront celles où la différence de température se fera le plus sentir.

Et dans les latitudes inférieures il y aura un certain parallèle où cette différence commencera à devenir sensible ; en sorte que plus près de l'équateur elle ne le sera plus, plus loin elle ira en croissant.

La détermination de cette limite n'est pas à ma portée.

§. 290. En outre, l'effet que nous venons d'analyser est, pour les régions des zones torrides et temperées, le résultat de la différence de deux causes contraires et continues, puisque le soleil d'hiver détruit en partie l'effet du soleil d'été (§. 285.). Mais pour les zones polaires, une partie considérable de l'action du soleil d'été est sans aucune compensation, par l'absence absolue ou la discontinuité du soleil d'hiver.

C'est une nouvelle raison ajoutée à celle que je viens d'indiquer, pour faire présumer que le froid austral peut n'être sensible que dans les régions circumpolaires.

CHAPITRE VI.

De l'inégalité périodique de température relative des deux hémisphères, ou de la température relative des saisons dans chaque hémisphère.

§. 291. Considérons maintenant la chaleur rayonnante qui résulte de la chaleur propre de la terre, dans le but de déterminer son effet sur la chaleur relative des hémisphères, en faisant abstraction de l'effet de la chaleur *solaire*.

Premièrement, cette considération ne peut introduire aucune disparité dans la température moyenne des hémisphères. Car, supposant la chaleur primitive interne (quelle que soit son origine) égale de part et d'autre, la chaleur rayonnante est égale en tems donné (§. 31.). Mais le tems étant, de part et d'autre, la durée même de l'année tropique, multipliée autant de fois qu'on voudra; cet élément ne peut introduire aucune inégalité constante.

§. 292. Il n'en est pas de même de la chaleur périodique et particulière à chaque saison. La considération de la chaleur propre de la terre y fait découvrir une inégalité.

En effet, la chaleur rayonnante produite

par la chaleur propre de la terre, étant dans chaque hémisphère proportionnelle au tems, et l'hiver austral étant plus long que le boréal à peu près dans le rapport de 373 à 357, le rayonnement d'hiver doit être plus grand dans cet hémisphère. Et par la même raison, le rayonnement d'été du boréal doit être plus grand selon le même rapport.

Il suit de là que les températures des deux saisons boréales seront plus rapprochées que celles des australes.

Ainsi, faisant abstraction de l'inégalité constante, l'été austral seroit plus chaud, et l'hiver austral plus froid, que ces mêmes saisons boréales respectivement. Et l'inégalité constante étant reprise en considération, on peut dire que le rapport des températures d'été et d'hiver est plus grand dans l'hémisphère austral.

§. 293. Cette inégalité sera inégalement répartie et affectera inégalement les divers climats des deux hémisphères.

Près de l'équateur, par exemple, cette considération ne peut guères avoir d'effet sensible. Les hivers, ou les saisons froides n'y correspondent pas aux moindres hauteurs solaires, et ne se distinguent presque pas des saisons chaudes par les mêmes élémens que dans les latitudes élevées.

CHAPITRE VII.

De la chaleur relative des deux hémisphères, modifiée par une considération chimique.

§. 294. J'AI considéré la chaleur comme une quantité : j'ai supposé les corps terrestres indifférens à l'entrée ou à la sortie de la chaleur; je les ai envisagés comme des espaces. Mais ces corps sont différens par leur nature et leurs affinités avec la chaleur. Et une classe de ces affinités doit avoir quelque influence sur les résultats précédens. L'affinité que j'ai en vue est celle de liquidité et de vaporisation, qu'on observe entre le feu et l'eau. Par l'effet de cette affinité, une même masse matérielle à même température contient des quantités de calorique fort différentes.

Appliquons cette considération à l'objet présent.

§. 295. Une livre de glace à *zéro*, mêlée à une livre d'eau à 60° de Réaumur, donne deux livres d'eau à *zéro*. D'où il suit que lorsqu'une livre d'eau à *zéro* passe à l'état de glace, elle donne la liberté à une quantité de calorique latent, suffisante pour élever de 60° la température d'une livre d'eau à *zéro*.

Lors donc que l'hiver des latitudes moyennes ou élevées agit sur de grandes masses d'eau et qu'il les convertit en glace, il se fait un grand dégagement de chaleur latente. Et cette chaleur devenue libre commence aussitôt à rayonner selon la loi commune.

Cette chaleur rayonnante s'échappant de la terre est une perte ajoutée à celle que produit sans cesse le rayonnement moyen qui est l'effet de la chaleur propre de la terre ou de la chaleur qu'elle reçoit du soleil.

Si nous feignons que les eaux couvrent la masse entière du globe, il résultera de là que les lieux, où les hivers sont assez rigoureux pour produire de la glace, doivent, pendant ces hivers, perdre un peu plus de chaleur que ne le comporte la loi commune.

Et par conséquent le pôle austral dont les hivers sont plus rigoureux devra être dans ce cas-là. A même latitude élevée il doit produire plus de glace. Et la latitude où commencent les glaces doit y être moins élevée. Il doit donc y avoir en hiver une plus grande perte de chaleur. Et cette perte additionnelle est sans compensation, malgré la plus grande chaleur d'été. Car pour que la compensation eût lieu, il faudroit que le feu de liquidité, qui est sorti au moment où la glace s'est formée, pût rentrer

dans cette glace pour la résoudre en eau ; mais cette chaleur devenue libre a rayonné, et par conséquent elle a subi quelque diminution.

Cette cause doit donc rendre l'hémisphère austral plus froid à même latitude, dès qu'on atteint celle où il se forme de la glace pendant l'hiver.

§. 296. Ce que j'ai dit du feu de liquidité s'applique aisément au feu de vaporisation. Si l'on suppose l'atmosphère tranquille et immobile, les vapeurs aqueuses qui se condenseront par le froid laisseront échapper leur feu de vaporisation. Et ce feu devenu libre et rayonnant opérera une perte de même genre que la précédente, et qui tendra à refroidir relativement l'hémisphère austral dans toutes les latitudes où le froid de l'hiver produit quelque condensation de vapeurs.

Mais cette cause est tellement troublée par l'agitation de l'atmosphère et par d'autres causes accidentelles mal déterminées, qu'on ne peut lui assigner cet effet qu'avec défiance.

CHAPITRE VIII.

De la chaleur relative des deux hémisphères, modifiée par une considération géographique.

§. 297. J'AI supposé le globe terrestre couvert d'eau en entier; il est tems de corriger cette supposition.

L'océan couvre les régions circonpolaires australes plus que les boréales : « car, comme » l'observe Mr. de Buffon *, les continens . . . » s'étendent jusqu'au 70.e degré et au-delà » vers le pôle arctique, tandis que dans les » régions australes il n'existe aucune terre de- » puis le 50.e, ou même le 45.e degré » (à de légères exceptions près) . . . . » en sorte que » cette grande zone australe est entièrement » maritime et aqueuse, et la boréale pres- » qu'entièrement terrestre. »

§. 298. Il résulte de là, que la quantité de glace qui s'y peut former est plus considérable. Et puisque la formation de la glace occasionne une perte de chaleur (§. 295.); cette perte par-là même doit y être plus grande.

* *Hist. nat. Suppl. T. X. in-8.* p. 361.

On pourroit appliquer ceci à la condensation des vapeurs, nécessairement plus efficace là où elles abondent, si l'atmosphère n'en troubloit l'effet.

§. 299. La plus grande étendue des mers paroît aussi devoir produire du refroidissement par l'excès d'évaporation qui en est la suite, même indépendamment de la perte qui résulte de l'augmentation de la chaleur rayonnante. Il est vrai que le calorique enlevé à l'eau par la vaporisation reste dans l'atmosphère, d'abord latent, puis libre, lorsque le froid (ou telle autre cause) condense les vapeurs. Mais l'agitation de l'atmosphère répand, par les courans qui s'y forment, ces vapeurs et ce calorique, de côté et d'autre, en sorte que les lieux qui en fournissent le plus à ce commun réservoir, où il va se disperser, sont aussi ceux qui s'en trouvent enfin le plus dépouillés.

§. 300. Telles sont les nouvelles modifications qu'apporte à la chaleur relative des deux hémisphères la circonstance géographique que j'ai remarquée.

Cette remarque n'est pas nouvelle. Mais les conséquences qu'on en a tirées diffèrent entre elles, et ne s'accordent pas avec celles que je viens de déduire.

Avant que le pôle austral eût été suffisam-

ment reconnu, Mr. Æpinus s'étoit occupé de ce sujet. Il avoit d'abord examiné l'effet de la plus ou moins grande étendue des mers sur la température des terres qu'elles entourent. Et remarquant que des îles assez voisines du pôle, telles que l'Islande, jouissent d'une température plus douce que leur latitude ne semble le comporter, et qu'il en est à peu près de même des rivages septentrionaux de la mer atlantique; il s'étoit persuadé que le voisinage de l'océan servoit à tempérer le froid : « car, » disoit-il, l'expérience atteste, que plus un » pays est voisin de l'océan, plus ses hivers » sont tempérés, et que plus il est enfoncé » dans le vaste continent qui constitue les pro- » vinces russes de l'Asie septentrionale, plus » il éprouve des froids rigoureux. »

Recherchant la cause de ce phénomène, il s'arrête à celle que paroît lui fournir l'agitation des eaux de l'océan : non qu'il imagine que cette agitation soit une cause de chaleur absolue; mais parce qu'elle doit mêler sans cesse les eaux du fond avec celles de la surface, et que le froid d'un hiver ne pénètre pas jusqu'à la profondeur des grandes vagues de l'océan.

Partant de ce fait une fois admis, que le voisinage des mers tempère le froid des terres; il en fait l'application, avec de sages réserves,

au phénomène du froid austral. « Les effets de » la nature, dit-il, sont le plus souvent com- » pliqués. Ainsi, quoique j'aie découvert ci- » devant une cause que je puis sans témérité » envisager comme assez probable *, qui rend » l'hémisphère boréal de la terre constamment » plus chaud que l'austral; il me paroît que » je ne dois point encourir de blâme, pour » penser que d'autres causes peuvent concourir » avec celle-là pour produire le même phéno- » mène. Les régions polaires arctiques étant » couvertes des eaux de l'océan, supposons » que le pôle austral, dont aucun navigateur » n'a pu encore approcher, soit entouré d'un » vaste continent. J'oserois bien affirmer, » qu'une conséquence nécessaire de cet ordre » de choses, seroit que les hivers de l'hémis- » phère austral dans les régions circonpolaires, » seroient plus rigoureux que ceux de l'autre » hémisphère **. »

§. 301. Le pôle austral ayant été bien reconnu par Cook, depuis l'époque à laquelle écrivoit ce physicien, la conjecture qu'il sembloit former ici sur l'existence d'un continent

* J'ai indiqué et discuté cette cause à laquelle Æpinus fait allusion, aux §§. 272 et 280. ci-dessus.

** *Cogitationes de distributione caloris per tellurem.*

austral

austral a été absolument détruite, et, comme je l'ai dit ci-dessus, il a été constaté que la mer occupe une beaucoup plus grande partie des régions australes que des boréales (§. 297.). Forster père profitant de l'avantage que lui donnoient ces nouvelles connoissances géographiques, en fit aussitôt l'application à la chaleur relative des deux hémisphères de la terre. Et il partit d'un principe directement opposé à celui qu'avoit adopté Æpinus. Celui-ci pensoit que la mer tempère le froid. Forster cherche à établir que la mer augmente le froid, ou du moins tempère la chaleur.

« La mer, dit-il, étant un corps transpa-
» rent, les rayons du soleil y pénètrent fort
» avant; mais à environ 271 pieds anglois,
» les faisceaux de lumière ne passent pas plus
» loin, et à cette profondeur l'eau de la mer
» devient parfaitement opaque. Partout donc
» où il n'y a point de fond à 45 brasses,
» la mer ne réfléchit aucun rayon du soleil:
» ils sont tous absorbés dans l'océan: et comme
» la réflexion de ces faisceaux contribue sur-
» tout à la chaleur de la température de l'air,
» il s'ensuit que sur les mers d'une grande
» étendue, qui ont communément 48 brasses
» de profondeur, la température de l'air n'est
» jamais aussi chaude que sur les terres placées

» aux mêmes parallèles ; c'est pour cela encore » que les îles d'une médiocre grandeur, environnées d'un grand océan, ne sont pas aussi » chaudes que les grands continens qui se » trouvent sous le même parallèle. J'ajouterai » que le foyer du miroir ardent dirigé sur de » l'eau, ne produit point de chaleur, tandis » qu'à ce foyer toute espèce de métal se fond » à l'instant, se vitrifie et s'évapore *. »

Forster applique ce principe au froid austral, et l'ajoute à la considération de la plus longue durée des saisons froides dans cet hémisphère.

§. 302. Il ne peut y avoir d'opposition plus directe que celle qui se trouve entre les sentimens de ces deux physiciens, touchant l'effet de la mer sur la température des terres qu'elle avoisine. L'un établit qu'elle échauffe, l'autre qu'elle refroidit, et chacun d'eux allègue des preuves physiques et géographiques.

Sans entrer dans la discussion de ces assertions, j'observerai que ni l'une ni l'autre des causes indiquées par ces auteurs ne me paroît applicable au phénomène du froid austral.

Dans tous les lieux où l'on observe, on trouve la température des caves profondes non-

* *Voy. de Cook et Forster*, T. V, de la trad. françoise, in-4°, p. 89.

seulement analogue, mais égale, à la température moyenne de la surface terrestre du lieu. Par conséquent, ni le mélange des eaux profondes, ni l'absorption des rayons solaires à une grande profondeur, ne peuvent changer l'état de la température moyenne. Ces circonstances peuvent avoir des effets momentanés; elles peuvent diminuer ou accroître le froid en certaines saisons, mais non dans un long cours d'années: parce que pendant ce long tems, soit que le mélange des eaux du fond s'opère ou ne s'opère pas, soit que l'absorption des rayons solaires se fasse au fond ou à la surface, la chaleur entre le fond et la surface a le tems de se mettre en équilibre, et la température moyenne qui en résulte ne varie pas.

CHAPITRE IX.

Suite.

§. 303. TOUT ceci, écrit avant que j'eusse connoissance de l'ouvrage de Mr. Kirwan sur *la température des différentes latitudes*, se trouve si heureusement confirmé par les recherches de cet ingénieux physicien, que je ne dois pas négliger d'indiquer ici ces rapports.

Après une discussion très-profonde sur l'influence de l'eau pour modifier la chaleur du climat, discussion dans laquelle la théorie et l'observation sont liées, mais qui est essentiellement fondée sur une suite de faits aussi certains que bien analysés, l'auteur arrive à cette conclusion *.

« Abstraction faite des circonstances que je » vais indiquer, la terre prend en été 8 ou 10

* *An estimate of the temper. of diff. latit. p.* 40. Au nombre des faits principaux sur lesquels cette conclusion est fondée, sont les expériences de Hales sur la température comparée de l'air et du terrain. Ces expériences ont été reprises avec plus de suite, et avec des instrumens plus parfaits par Mr. F. G. Maurice, dont les observations météorologiques offriront, lorsqu'il les publiera, un recueil précieux en ce genre.

» degrés de chaleur de plus que la mer, et » elle est de 8 ou 10 degrés plus froide en » hiver, à la même latitude *. »

On voit donc que l'eau ne modifie point le climat d'une manière permanente et séculaire, mais seulement d'une manière périodique **. Voilà le fait général. Voyons maintenant les circonstances particulières, dont l'auteur a dit qu'il feroit ici abstraction, et qu'il traite ensuite avec beaucoup de soin et de détail. Entre ces circonstances il en est deux qui n'ont pas de rapport [illegible], et dont par cette raison je ne

---

* ...oit ici, et dans tout ce que je cite de Mr. Kir... les degrés de Fahrenheit.

Cet effet se manifeste bien dans l'observation suivante d'un habile navigateur, qui fut conduit immédiatement à la cause du phénomène par la brièveté de sa durée.

« Il est remarquable, dit Mr. de la Billardière, que la température de l'atmosphère à cette extrémité de la Nouvelle Hollande [au Cap Diémen] varia quelquefois de 17° du jour à la nuit (du 6.ème au 23.ème de Réaumur). A la vérité, ajoute-t-il, cette terre étroite, située par une aussi haute latitude [42° S.] est peu capable de retenir long-tems la chaleur, que lui ont imprimée les rayons du soleil. A bord [du vaisseau La Recherche], la variation du thermomètre dans le même tems n'alloit pas au-delà de 5 à 6 degrés. *Voyage à la recherche de la Pérouse*, T. II. p. 27.

fais pas mention, savoir l'élévation du sol, et le voisinage des montagnes et des forêts. Quant au voisinage de l'océan que l'auteur nomme *standard océan*, (c'est-à-dire, de cette partie de l'atlantique et de la mer pacifique qui est la moins exposée aux causes accidentelles, et dont la situation offre un *étalon* commode pour servir de point de comparaison), voici comment se manifeste son influence.

Pour chaque 50 milles anglois de distance en lieu à *l'océan qui sert d'étalon*, il faut compter le changement de température moyenne annuelle qu'exprime la table suivante.

Du 70° de latitude au 35°.	refroidi de $\frac{1}{4}$ de degré.
35° ——	$\frac{1}{8}$
30° ——	0
25° ——	réchauffé de $\frac{1}{5}$
20° ——	$\frac{1}{3}$
10° ——	1

En général dans l'espace en latitude que comprend cette table, pour l'hémisphère boréal, sur lequel seul elle a été faite du moins aux latitudes élevées, la mer ne gèle point. Dans la table de *la chaleur moyenne menstruelle de l'océan servant d'étalon* *, on voit qu'au 60° de latitude, la température, dans aucun

* *Estim. of temp. of diff. lat.* p. 23.

mois de l'année, n'est plus basse que le 33° degré de Fahrenheit, c'est-à-dire, qu'elle est constamment au-dessus du terme de la congélation de l'eau douce. Et du 60° au 70° de latitude, en aucun mois la température ne baisse au-dessous du 27° de Fahrenheit. Au 70° de latitude enfin, la température n'est au-dessous de 32° de Fahrenheit que quatre ou cinq mois de l'année.

J'observe en outre que dans cet intervalle de 10° de latitude, depuis 60° à 70°, la table a dû être principalement dressée par théorie, vu que les observations d'hiver sur mer, et les observations exactes sur terre à de grandes distances du rivage, sont moins communes à mesure qu'on avance vers les hautes latitudes; et c'est ce qu'insinue Mr. Kirwan, soit en présentant cette table aux physiciens avec une franchise digne d'être imitée, soit en ajoutant à la suite de cette table cette explication remarquable. « Quoique le soleil soit absent un mois » entier à la latitude de 67°, et deux mois à » celle de 70°, etc. toutefois j'ai hasardé de » fixer la chaleur moyenne de Janvier au 70° » de latitude pas plus bas que 27°, parce qu'à » Wadso, latitude 70°5′, on ne voit jamais » la mer geler, et que sa température aux en- » virons de Noël est de 32°, quelquefois au-

» dessus, quelquefois au-dessous. » Mr. Kirwan ajoute à cette observation, d'autres raisons qui confirment son opinion touchant la température modérée de cette mer dans les hautes latitudes. Et il indique ailleurs la vraie cause de cette chaleur supérieure que la mer conserve pendant l'hiver, cause dont Mr. Æpinus avoit approché, mais qui se trouve ici développée avec beaucoup de clarté : c'est principalement l'inégale densité des couches supérieures et inférieures des eaux, qui force les couches chaudes du fond à remplacer celles de la surface à mesure que le froid les condense. Il se pourroit aussi que (de même qu'on l'observe dans l'air) les courans généraux s'établissent en bas du froid au chaud, en haut du chaud au froid, ce qui ramèneroit sans cesse à la surface, dans les latitudes élevées, des eaux échauffées par le soleil. Enfin l'élévation du sol, est une cause de froid toujours subsistante.

Quoiqu'il en soit, Mr. Kirwan ayant établi clairement que (en exceptant certains hivers rigoureux) la mer ne gèle point au-dessous du 60° de latitude, et ayant rendu probable qu'elle gèle bien peu au-dessous du 70° de latitude ; et ce même auteur ayant fixé au 35° de latitude, la limite à laquelle il commence à

se former sur terre de la glace pendant l'hiver, dans les terrains médiocrement élevés *: on ne doit pas être surpris que du 35° au 70°, la terre soit (d'après nos principes) un peu plus refroidie que la mer, et que cette différence se manifeste toujours plus à mesure qu'on s'éloigne davantage du rivage qui sépare la mer du continent. Les eaux douces qui abreuvent les terres, en gelant chaque année, augmentent les rigueurs de l'hiver (§. 295.). Les glaces et les neiges entassées, en fondant lentement, les prolongent.

Il est bien vrai que l'évaporation étant plus grande sur la surface aqueuse doit y augmenter le froid relatif, et combattre jusqu'à un certain point l'effet de la cause que je viens d'indiquer (§. 299.). Mais on conçoit aisément qu'il peut y avoir excès de l'une sur l'autre, et c'est cet excès que donne l'observation.

Au 50° de latitude ces deux causes sont insensibles; il ne se forme plus de glace dans les terres médiocrement élevées **, l'évaporation agit seule, et son action, dans les lieux où l'on a observé, est exactement balancée par les glaces rares des lieux peu élevés, où

* Ibid. p. 19.
** Ibid.

bien les observations desquelles ce résultat moyen est tiré se compensent, ou bien enfin les circonstances de l'élévation du sol et de la distance à *l'océan servant d'étalon* n'ont pu être exactement séparées, comme on doit peut-être l'inférer des expressions de l'auteur à ce sujet. « Il paroît, dit-il, que du 70° de latitude » au 30°, l'élévation et la distance conspirent » pour produire le même effet, c'est-à-dire, » pour abaisser la température annuelle; on » seroit tenté de supposer en conséquence que » leur effet réuni doit être le produit de l'une » et de l'autre cause; mais comme l'effet de » l'élévation est jusqu'à un certain terme com- » pliqué avec celui de la distance, savoir lorsque » l'élévation est moindre que six pieds par mille; » je trouve plus conforme à l'observation d'ad- » ditionner les effets de la distance et de l'élé- » vation l'un à l'autre. »

Et il ajoute, en continuant de résumer les résultats de la table ci-dessus : « Dans les lati- » tudes au-dessous de 30°, l'élévation et la » distance de l'*océan qui sert d'étalon* en gé- » néral se combattent mutuellement, et par » cette raison l'effet de l'une doit être *soustrait* » de l'effet de l'autre. »

C'est donc vers les 30° de latitude que l'effet de la distance a passé dans les calculs de

M. Kirwan de l'état positif à l'état négatif. On conçoit aisément que, dans la réduction des observations aux environs de cette latitude, cet élément a dû paroître nul.

Du 30° au 10° de latitude la glace n'existe plus, même l'hiver, si ce n'est à la hauteur de 11592 pieds anglois *, et par conséquent on peut bien compter son influence sur le refroidissement général du sol comme nulle. Cette cause étant ainsi supprimée, l'évaporation agit seule, et l'on doit s'attendre à trouver son effet toujours croissant en avançant vers les latitudes chaudes **. Dans nos climats, l'évaporation d'été est à peu près quadruple de celle d'hiver *** (sans nous arrêter à d'autres raisons dont quelques-unes se trouvent indiquées à l'endroit que je cite). Et, comme dans les latitudes hautes, entre 35° et 70° de latitude, deux causes se combattoient dont nous n'observions que la différence, (causes qui ne sont

* Ibid. p. 9.

** Richmann a prouvé, par voie d'expérience, que la loi que suit la quantité de l'évaporation de l'eau est la proportion exacte du calorique qu'on y introduit, toutes choses d'ailleurs égales et dans les limites des phénomènes soumis à ses observations. *Nov. comm. Acad. Petrop. T. I.* p. 200 et 205.

*** Ibid. p. 12.

pas fort éloignées de l'égalité dans leurs diverses périodes et qui s'égalisent vers le 30° de latitude); il est naturel de présumer que l'effet sera plus sensible, lorsqu'une cause agira seule. Et c'est aussi ce qui s'observe dans la table précédente, où l'évaporation produit jusqu'à 1° thermométrique de différence vers le 10° de latitude; tandis que l'effet de la glace, diminué de celui de l'évaporation, ne s'élève pas à plus d'un tiers de degré thermométrique dans les latitudes hautes.

§. 304. Ne faut-il point modifier par ces considérations-là, tirées presqu'immédiatement de la table même de M. Kirwan, l'assertion suivante qu'on lit dans son ouvrage? « Les îles » étant entourées de la mer participent plus à » sa température et sont par conséquent *plus* » *chaudes* que les continens *. » Ne faut-il point lire *plus tempérées*; c'est-à-dire, plus chaudes en hiver, moins chaudes en été? On ne doit-on point restreindre l'assertion aux îles situées au-dessus du 35.e parallèle? En un mot, ne faut-il pas avoir égard au principe et à la table que nous venons d'analyser?

Si j'examine la température des îles qui est donnée par résultat d'observations dans l'ou-

* Ibid. p. 46.

vrage de M. Kirwan, j'y trouve de quoi fortifier ce soupçon. A Madère la température moyenne observée est de 68°,6. Celle de l'*océan servant d'étalon* à cette latitude est 68°,9. A Londres, la température est exactement ce qu'elle doit être; à Edimbourg, l'observée est 47,7, celle de *l'étalon* 47,5. Aux îles Falkland la température est beaucoup au-dessous de l'*étalon*. Manille est de 2° moins chaude que son *étalon*. Je ne vois entre les îles indiquées que Saint-Domingue dont la température soit sensiblement plus haute que son *étalon*, en s'en rapportant à l'estimation de Mr. Blagden qui la fixe à 81°; tandis que l'*étalon* ne donne que 78°,3. Je vois cependant que Mr. Hunter fixe à 80° la chaleur des puits à Kingston dans la Jamaïque *. Si l'on s'en tenoit à cette estimation pour Saint-Domingue, il y auroit encore 1°,7 de trop. Mais Saint-Domingue étant une île très-grande, et sous cette latitude la terre s'échauffant à raison de 1° par 50 milles de distance à la mer, ne pourroit-il point se faire que cette cause y influât sensiblement? Ou bien n'y a-t-il point ici quelque cause locale?

En examinant ces résultats, je crois qu'on

* *Trans. phil.* 1788.

peut conserver quelque doute sur la chaleur des îles.

§. 305. Sans insister sur ce fait particulier, il est important de faire remarquer une conséquence de la proposition établie par M. Kirwan, touchant l'effet de la mer sur la température périodique du climat.

Le pôle austral étant beaucoup plus recouvert par la mer que le boréal, les îles et les extrémités des terres y doivent plus participer à la température des eaux; on doit donc s'attendre à y trouver les étés moins chauds et les hivers en proportion moins rigoureux qu'ils ne devroient être (§. 303); et cette circonstance peut masquer l'effet de l'influence solaire à cet égard dans les climats où l'océan ne gèle pas. Ainsi la température périodique des deux hémisphères qui, par une raison précédemment déduite (292.), devoit produire dans l'austral des hivers plus froids et des étés plus chauds, devra, par la raison actuelle, produire dans les mêmes climats précisément l'effet opposé. Et l'observation donnera la différence de ces deux causes, sur l'intensité absolue ou relative desquelles nous ne sommes en état de rien affirmer à l'avance.

CHAPITRE X.

Résumé des causes qui doivent influer sur la température relative des deux hémisphères de la terre.

§. 306. Y a-t-il une cause mécanique de différence constante entre les températures australe et boréale ?

J'ai répondu affirmativement à cette première question. J'ai réfuté les opinions de ceux qui attribuoient cette différence à quelque inégalité dans la quantité de chaleur solaire reçue par l'un et l'autre hémisphère. J'ai fait voir que cette différence provient de l'inégalité qui a lieu dans la quantité de chaleur rayonnante que ces hémisphères émettent en tems donné. Et j'ai montré comment cette inégalité résulte nécessairement de l'inégale distribution des quantités égales de chaleur solaire qui leur sont départies annuellement.

§. 307. Y a-t-il une cause mécanique de différence périodique entre les températures australe et boréale? Le rapport de l'été à l'hiver doit-il différer, dans les deux hémisphères, aux mêmes latitudes ?

J'ai encore répondu affirmativement à cette

seconde question. Et laissant les fausses opinions de ceux qui attribuoient cette différence à quelque inégalité dans la chaleur solaire, j'ai prouvé qu'elle doit résulter du rayonnement que produit la chaleur propre et permanente de la terre.

§. 308. J'ai indiqué ensuite une cause chimique qui augmente l'effet des causes mécaniques précédentes ; savoir, l'excès de rayonnement produit par la formation de la glace, et par la condensation des vapeurs.

§. 309. J'ai mentionné enfin une cause géographique bien connue (l'excès des eaux), comme devant augmenter l'effet de la cause chimique indiquée ci-dessus. Je l'ai envisagée aussi comme enlevant, par l'évaporation, plus de calorique aux régions australes. Et j'ai réfuté les opinions contradictoires de quelques physiciens sur la manière d'agir de cette cause.

Profitant ensuite des résultats les plus certains de l'observation, qui font envisager la mer comme tempérant également les étés et les hivers dans les climats où elle ne gèle pas, j'ai fait remarquer que cette cause étoit opposée à celle qui influe mécaniquement sur la température périodique, et que la différence de ces deux actions opposées ne pouvoit être appréciée d'avance.

§. 310.

§. 310. Toutes ces causes du froid austral ont été trouvées plus actives dans les latitudes élevées, et quelques-unes absolument nulles dans les latitudes inférieures.

Consultons maintenant l'expérience.

CHAPITRE XI.

De la chaleur relative des deux hémisphères donnée par l'observation.

§. 311. L'HÉMISPHÈRE austral est-il plus froid que le boréal?

Au milieu du siècle, Buffon répondoit négativement à cette question. « Les navi-» gateurs prétendent, disoit-il, que le con-» tinent des terres australes est beaucoup plus » froid que celui du pôle arctique, mais il » n'y a aucune apparence que cette opinion » soit fondée *. »

Mairan, écrivant peu d'années après cette époque, adoptoit le sentiment de Buffon à cet égard. « Que doit-on penser, dit-il, de » l'opinion communément reçue sur ce sujet

* *Théorie de la terre. Hist. nat. in-8. T. I. p.* 312 La première édition de cet ouvrage parut en 1749.

» et de ces froids excessifs de l'hémisphère » austral, que quelques navigateurs s'ac- » cordent à exagérer, en comparaison de ceux » qu'on éprouve dans le boréal? C'est un pré- » jugé moderne qu'on peut mettre à côté de » celui des anciens sur la zone torride, comme » sur les polaires, et dont on commence aussi » à revenir de même depuis qu'il a été discuté. » Je m'en rapporte donc à ce qu'en ont dit » Mr. de Buffon, dans son *Histoire naturelle*, » et Mr. le président De Brosses, dans son *His-* » *toire des navigations australes*, où ils sont » entrés dans cette discussion *. » Il s'étaye dans son sentiment sur quelques relations qui ne méritent plus aujourd'hui de nous occuper.

§. 312. A l'époque de la publication du second *Voyage de Cook*, tous les doutes furent dissipés. Et Buffon ne fut pas le moins empressé à se rendre à l'évidence, quoiqu'il ne fasse point une rétractation formelle, et qu'il paroisse suivre la trace de ses anciennes opinions, alors même qu'il les réforme. S'appropriant donc les remarques faites par les savans navigateurs qui accompagnèrent Cook dans ce voyage, il donna dans les *Supplémens*

* *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris pour* 1765, *p.* 230.

de son *Histoire naturelle*, une carte exacte de toutes les connoissances acquises sur les régions polaires arctiques et antarctiques, et en développa les résultats.

Il fit voir que les glaces, qui au nord n'occupent qu'environ 9 degrés depuis le pôle, s'étendent au sud jusqu'à 18 ou 20 degrés, « puisque Cook, le plus grand de tous les » navigateurs, ayant fait le tour presqu'entier » de cette zone australe, a trouvé partout des » glaces, et n'a pu pénétrer nulle part au- » delà du 71.e degré, et cela dans un seul » point au nord-ouest de l'extrémité de l'A- » mérique : les appendices de cette immense » glacière du pôle antarctique, s'étendent » même jusqu'au 60.e degré en plusieurs lieux, » et les énormes glaçons qui s'en détachent, » voyagent jusqu'au 50.e et même jusqu'au » 48.e degré de latitude en certains endroits. »

Il observe sur un espace de 10 degrés de longitude occidentale, et de 35 de longitude orientale, formant en tout 45 degrés de longitude, que dans cette portion australe du globe, « tout » l'espace entre le 50.e et le 60.e degré de la- » titude est rempli de glaces brisées, dont » quelques-unes forment des îles d'une gran- » deur considérable; on voit que, sous ces » mêmes longitudes, les glaces deviennent

» encore plus fréquentes et presque continues » aux 60.e et 61.e degrés de latitude; et enfin, » que tout le passage est fermé par la conti- » nuité de la glace aux 66.e et 67.e degrés, où » Cook a fait une autre pointe, et s'est trouvé » forcé de retourner, pour ainsi dire, sur ses » pas; en sorte que la masse continue de cette » glace solide et permanente, qui couvre le » pôle austral, s'étend dans ces parages jus- » qu'au-delà du 66.e degré de latitude *. »

Cet auteur ne néglige pas de faire remarquer que les méridiens sous lesquels ces glaces s'avancent le plus, sont ceux où il y a une plus vaste mer ouverte devant elles, et où les terres sont le plus éloignées. Et cette remarque paroît conforme à la vérité.

§. 513. Lorsque Buffon développoit ces observations, il avoit sans doute connoissance de celles de même genre, qu'avoit faites Forster père, qui avoit vu de ses yeux tous ces phénomènes et en avoit bien déduit toutes les conséquences.

« Si on compare, dit ce savant voyageur, » les observations météorologiques rassem- » blées aux îles Falkland, par environ 51° de » latitude sud, et publiées par Mr. Dalrymple,

* *Hist. nat. Suppl.* T. X. p. 356.

» dans sa *Collection des voyages dans la mer* » *sud*, avec celles qu'on recueille partout » en Europe dans les degrés de latitude cor- » respondans de l'hémisphère septentrional; » si on considère qu'à la Terre de feu, à la » Terre des États et à la Géorgie australe du » 54° au 56° de latitude sud, à la terre de » Sandwich, par environ 58° et 59° de lati- » tude sud, tout le sol est couvert d'une neige » éternelle jusqu'aux rivages de la mer, dans » les mois de décembre et de janvier, qui » répondent à nos mois de juin et de juillet; » un lecteur sans prévention jugera que la » température de l'hémisphère austral doit » être beaucoup plus froide que celle de l'hé- » misphère du nord: personne désormais ne » peut révoquer en doute cette vérité *. »

§. 314. Je terminerai ces citations par la description de ces climats glacés qu'on trouve dans la relation même de ce voyage, en supprimant ce qui contient des vues hypothétiques, pour qu'on juge du fait avec plus d'impartialité.

Etant par le 54° de latitude, sur la côte de la Géorgie australe, le 17e janvier 1775, l'auteur de la relation parlant au nom de Cook, s'exprime ainsi:

---

* *Voyage de Cook et Forster, T. V. in-4. p. 87 de la traduction françoise.*

« Le fond de la baie, et deux endroits de » chaque côté, se terminoient par des rochers » de glace perpendiculaires, d'une hauteur » considérable. Il s'en détachoit continuelle- » ment des morceaux : pendant que nous » étions dans la baie, une masse énorme » tomba; et fit un bruit pareil à celui du » canon.

» Ces masses, ajoute ici Mr. Forster, sont » absolument les mêmes que celles qu'on » trouve dans les havres du Spitzberg *. »

Le 20.e de ce même mois, les navigateurs s'assurent que cette terre est une île de 70 lieues de tour. Sur quoi l'auteur de la relation s'écrie :

« Qui auroit jamais pensé qu'une île aussi » peu étendue que celle-ci, située entre le » 54.e et le 55.e parallèles, fût, au milieu de » l'été, couverte presqu'en entier, à plusieurs » brasses de profondeur, d'une neige glacée?.... » Les flancs eux-mêmes et les sommets es- » carpés des hautes montagnes, étoient en- » fermés par la neige et la glace; mais la » quantité qui se trouva dans les vallées est » incroyable; et au fond des baies, la côte

* Ibid. T. IV. p. 83.

» aboutissoit à une muraille de glace d'une » élévation considérable *.

» On a supposé (dit Mr. Forster à la suite » de ces descriptions) que toutes les parties » de ce globe, même celles qui sont les plus » affreuses et les plus stériles, sont propres » à être habitées par des hommes. Avant » d'aborder sur cette île de la Géorgie, nous » n'étions pas éloignés d'adopter cette opinion, » puisque les rochers sauvages de la Terre de » feu sont peuplés; mais le climat de la Terre » de feu est doux en comparaison de celui de » la Géorgie; car le thermomètre étoit ici » d'au moins dix degrés ** plus bas. Les étés » de cette nouvelle île sont très-froids: le » thermomètre n'a jamais monté à plus de dix » degrés *** au-dessus du point de congéla- » tion, pendant notre séjour sur la côte; et » quoique nous ayons lieu de croire que les » hivers n'y sont pas aussi froids en proportion » que dans notre hémisphère ****, il est pro-

* Ibid. p. 91.

** De Fahrenheit.

*** De Fahrenheit.

**** Il n'indique pas le fondement de cette conjecture. En général l'hiver austral est plus froid à même latitude, du moins par une cause ci-dessus indiquée §§. 292 et suivans.

» bable qu'il y a au moins entre les deux saisons » une différence de 20 ou 30 degrés : je pense » que cela suffiroit pour tuer tout homme qui » auroit survécu aux rigueurs de l'été *, etc. »

§. 315. Ces témoignages prouvent suffisamment que dans les hautes latitudes australes, le froid est plus rigoureux que dans ces mêmes latitudes boréales.

Dans les latitudes inférieures, où il ne se forme pas de glace, et où les températures australe et boréale se mêlent, la différence de température entre les deux hémisphères ne paroît pas se faire sentir; mais pour en juger sûrement, il faudroit des observations plus exactes et plus nombreuses que celles qu'on a recueillies. Car les causes accidentelles trompent aisément lorsqu'on n'embrasse pas un grand espace.

Du reste, ces résultats sont tels qu'on avoit lieu de les attendre **.

Quant à l'inégalité périodique, ou à cette légère différence qui doit avoir lieu entre le rapport des saisons dans chaque hémisphère, nous manquons d'observations qu'on puisse comparer entr'elles sous ce point de vue.

* Mr. Forster joint ici d'autres considérations étrangères à mon sujet.

** §. 285.

CHAPITRE XII.

Suite.

§. 316. Aux îles Falkland, 51° latitude sud, la température observée aux années 1776 et 1777, fut 47° de Fahrenheit, ce qui, selon Mr. Kirwan, est 5° au dessous de l'*étalon* *; mais ce déficit a surtout lieu dans les mois d'été. Les mois froids, tels que juin et juillet (exceptant formellement août), furent plutôt un peu plus chauds, que les mois correspondans de décembre et janvier (exceptant février) ne sont d'ordinaire à Londres, située par le 51° 31′ de latitude nord. Si donc ce petit nombre d'observations faites aux îles Falkland pouvoit servir de moyenne, on en concluroit que le voisinage d'une vaste étendue de mers qui ne gèlent point, y influe plus sur la température périodique, que ne peut faire la raison mécanique déduite ci-dessus (§. 305.). Mais la différence de 5° dont la chaleur annuelle moyenne s'y trouve inférieure à l'*étalon*, confirme bien la théorie du froid austral. Et c'est cette différence

* *An estimate of the temp. of diff. latit.* p. 102.

qu'avoit en vue Forster dans le passage que j'ai cité, quoiqu'il ne l'eût pas exactement appréciée (§. 313.).

§. 317. Toutefois je crois devoir finir par traduire ici le court chapitre où Mr. Kirwan traite *de la température de l'hémisphère austral* *.

« De l'équateur au 40° de latitude, la tem-
» pérature de cet hémisphère semble être
» exactement la même que celle des parallèles
» correspondans du côté du nord **; mais
» c'est l'opinion générale, que les latitudes
» plus australes sont beaucoup plus froides
» que les septentrionales, à égale distance de
» l'équateur. Si cette opinion regardoit uni-
» quement la saison de l'été, ou les latitudes
» plus hautes que 60°, il y a de bonnes raisons
» de la croire fondée; car dans cet hémis-
» phère, aussi bas que le 68°, la mer a été
» trouvée gelée partout par cet incomparable
» navigateur le capitaine Cook, et de larges
» masses de glace sont en été détachées et
» entraînées aussi bas que 50° de latitude, ou
» même 46°, et fondant à cette hauteur,
» elles y répandent le froid jusque dans des

* Ibid. p. 15.

** Voyage de Gentil, T. I. p. 73.

» parages encore plus éloignés du pôle. Mais, » d'un autre côté, l'absence de la terre, qui, » comme on sait, reçoit un beaucoup plus » grand degré de froid que l'eau, rend très- » probable que les hivers antarctiques sont » beaucoup plus doux que les arctiques, du » moins sur terre.

» Il est digne de remarque que le docteur » Halley et Mr. Wales ont trouvé quelquefois » dans cet hémisphère le vent du nord plus » froid que celui du sud *. »

N'ayant nullement à cœur de trouver un résultat d'une nature déterminée; mais ayant fort à cœur de trouver le résultat vrai, je me borne à désirer que les physiciens qui auront pris la peine de me lire, veuillent bien reprendre en considération ce sujet et lever les doutes que doivent naturellement faire naître ceux d'un météorologiste tel que Mr. Kirwan.

Il semble insinuer que la diminution du froid d'hiver, résultant de l'abondance des eaux, pourroit bien compenser dans l'hémisphère austral la diminution de la chaleur d'été. Je ferai remarquer néanmoins que cette compensation ne doit pas avoir lieu dans les climats

* *Dalrymple's Voy. p. 37. and Wales's Observ. on his Voy.*

où les glaces sont permanentes : or c'est le cas où se trouvent tous les climats de cet hémisphère dès le 68°, comme le dit Mr. Kirwan, et plusieurs climats moins élevés (§. 312.), à l'exception d'un seul point où les glaces ont permis de pénétrer en été jusqu'au 71° (*ibid.*). On ne sauroit voir aucune raison, dans ces climats glacés, pour que l'hiver y fût moins rude que sur les terres. Toutes les causes indiquées, soit par Mr. Kirwan, soit par d'autres, et toutes les observations qu'il a recueillies pour établir la différence périodique de chaleur entre la mer et la terre, se rapportent à la mer liquide et ne s'appliquent point à d'immenses plaines de glace. De sorte que pour établir la compensation entre l'été et l'hiver dans l'hémisphère austral, il ne resteroit plus que cette observation de Halley et Wales sur les vents du nord et du sud. Mais outre qu'elle ne se présente encore que sous une forme vague, il faudroit vérifier si c'est dans les hautes ou dans les basses latitudes que cette observation a été faite ; car dans les basses latitudes, c'est-à-dire, dans celles où la mer ne gèle pas, elle n'a rien qui doive surprendre.

Il faut sans doute attendre et demander de plus nombreuses et de plus exactes observations. Cependant il n'est pas inutile de pré-

parer la matière en analysant les causes et en préjugeant le phénomène.

§. 318. Il me semble enfin, après avoir mûrement pesé tous les faits, qu'on peut conclure sans témérité que jusqu'ici les observations présentent le même résultat que la théorie, savoir, que l'*hémisphère austral est plus froid que le boréal* dans les latitudes élevées.

SECTION XII.

REMARQUES MÉTÉOROLOGIQUES.

CHAPITRE I.

Effet des nuages sur la température de l'air près du sol.

§. 319. La nuit, lorsque le ciel est serein, l'air est généralement plus froid près de la terre. Au printems et en automne, il gèle peu lorsque le ciel est couvert. Souvent enfin, par une nuit sereine, s'il vient à passer un nuage par le zénith de l'observateur, à l'instant le thermomètre monte *.

Essai d'explication.

§. 320. L'air même le plus dense, tel que celui de nos plaines, est perméable à la chaleur rayonnante; car c'est dans cet air qu'on

* Bacon avoit remarqué ce phénomène. *Noctes illustres stellis, neque illunes, frigidiores sunt noctibus nubilis.* Sylv. sylv. Cent. IX. §. 866. Je l'étayerai d'observations précises aux §§. 324, 325.

observe celle-ci. L'air rare des régions supérieures de l'atmosphère est encore plus perméable ; il est en quelque sorte transparent, ou plutôt *transcaloreux*. Mais l'eau ne l'est pas, ni la vapeur vésiculaire. Les nuages sont opaques pour la chaleur comme pour la lumière. Ils absorbent l'une et l'autre, et ne la laissent passer que lentement *.

Ainsi la chaleur rayonnante de la terre traverse avec facilité l'atmosphère pure, mais elle est interceptée par les nuages. Ceux-ci sont donc pour la terre une espèce de vêtement. Ils empêchent l'écoulement de sa chaleur rayonnante ; et en la recevant vers leur partie inférieure, ils s'échauffent de ce côté-là comme un habit s'échauffe du côté du corps, et par conséquent ils renvoient à la terre un peu plus de chaleur rayonnante que ne peut faire l'air transparent.

La surface supérieure du nuage se refroidit au contraire par l'émission facile de sa chaleur dans un air raréfié. Mais le passage lent de la chaleur gênée qui serpente de l'une à l'autre surface, ne peut rétablir l'équilibre incessamment rompu par la source inépuisable de cha-

* On voit, dans plusieurs expériences citées ci-dessus, que l'opacité nuit à la transmission de la chaleur.

leur du côté de la terre, et par le gouffre toujours ouvert où elle se précipite de l'autre.

Tout nuage, la nuit, est donc exactement comparable à un vêtement très-épais qui recouvre un corps maintenu chaud par une cause interne et perpétuelle (tel qu'est, par exemple, le corps humain). La surface intérieure est chaude, la surface extérieure participe à la température froide de l'air ambiant. Et l'application du vêtement sur le corps y maintient la chaleur.

On n'a pas lieu d'être surpris de la promptitude de l'effet, parce que tout le jeu de la chaleur rayonnante, allant et revenant de la terre au nuage et du nuage à la terre, s'exécute en un instant indivisible. D'ailleurs à l'instant où le nuage arrive au zénith, il arrive en quelque sorte tout préparé. Sa partie inférieure a déjà acquis une chaleur excédante. Déjà elle émet plus de chaleur rayonnante que pareille étendue d'air de la même région. C'est un lambeau de vêtement qui passe d'une partie du corps à l'autre. Ainsi à l'instant même où ce vêtement chaud vient couvrir l'observateur, le thermomètre doit accuser sa présence.

§. 321. Le jour si le soleil frappe la surface supérieure du nuage, l'effet doit changer; mais je ne pousserai pas cette explication plus loin : je

je ne tenterai pas non plus de déterminer ici le rapport qu'il peut y avoir entre la cause que je viens d'indiquer et l'électricité des nuages.

§. 322. Les nuages arrêtent la chaleur rayonnante, comme la neige arrête la chaleur prête à rayonner. Ainsi la neige est aussi et plus exactement un vêtement pour la terre.

Lorsque le froid est très-rigoureux et que la surface de la terre est nue, elle gèle; mais si la neige la recouvre, à moins que le froid ne dure très-long-tems et jusqu'au point d'épuiser la source de chaleur interne, la gelée ne pénètre pas jusqu'à la terre. A peine la chaleur rayonnante en sort-elle, qu'elle est interceptée par les molécules de glace, qui composent la neige : elle l'entretient ainsi à un degré de chaleur plus tempéré et en occâsionne même la fusion *.

§. 323. L'explication que je viens de donner confirme et détermine, si je ne me trompe, celle que Mr. Pictet a proposée sous le titre modeste de *conjecture*.

« Cette chaleur qui se dégage, dit cet habile » physicien, et qui reste quelque tems mêlée » dans la vapeur vésiculaire, explique jusqu'à

* Voyages dans les Alpes par Mr. de Saussure, T. I, §. 532.

» un certain point pourquoi le froid n'est jamais » aussi rigoureux dans les tems couverts que » dans ceux qui sont sereins. Dans le tems » serein, la rupture d'équilibre entre la tem- » pérature des couches supérieures et infé- » rieures de l'atmosphère peut être considérée » comme occasionnant un courant de feu con- » tinu de bas en haut, qui dépouille de la » partie libre de ce fluide et la surface du sol » et les couches d'air voisines, dans une pro- » gression plus rapide que le sol lui-même ne » fournit à remplacer cette chaleur qui s'en- » vole ; or le feu, je ne me lasse point de le » répéter, ne peut être contenu ou cohibé » que par lui-même ; s'il se présente donc un » nuage à une certaine hauteur, le feu qu'il » porte avec lui arrête le courant dont je parle, » le fait refluer au contraire vers le bas, et » donne lieu à celui qui continue à s'échapper » du sol de se rassembler dans les couches infé- » rieures et d'en adoucir la température *. »

Il ne s'agit que de substituer l'idée de l'équilibre du calorique par voie d'échanges à celle de l'équilibre immobile, pour rapprocher ces deux explications. C'est ce qui m'inspire

* *Essai sur le feu*, §. 143.

quelque confiance en faveur de celle que j'ai proposée.

CHAPITRE II.

Suite.

§. 324. Le phénomène météorologique indiqué au §. 319. a été remarqué par Mr. Pictet, et consigné dans ses journaux d'observation. C'est ce qu'atteste l'extrait suivant, qu'il en a transcrit textuellement, et auquel il a joint une remarque importante.

« *Extrait du registre de l'observatoire,* » *intitulé:* Observations diverses.

« *Janvier 1777.*

» *Dans la nuit du 4 au 5, le thermomètre* » *étoit à* — 12 *à* 10 *heures du soir; le tems* » *s'étant couvert ensuite, il n'étoit plus qu'à* » — $10\frac{1}{2}$ *à* 11 *h. du soir* *. »

* Les deux notes suivantes, inscrites sur le même registre à la suite de celle-là, ont quelque rapport à notre sujet et font voir que le froid régnoit à cette époque d'une manière constante.

« *Dans la nuit du 6 au 7, le thermomètre étoit à*

» Je me rappelle distinctement au sujet de » cette note », ajoute Mr. Pictet, en me la communiquant, « un fait que je ne trouve » pas enregistré, c'est que le haussement de » température dont il est question fut simul- » tanée avec l'apparition d'un nuage assez » voisin, mais peu étendu, aux environs du » zénith.

» Un autre fait, observé par tous les agri- » culteurs, et relatif à l'influence prompte et » presque immédiate des nuages sur le sol » (indépendamment de leur effet pour inter- » cepter les rayons solaires), est celui-ci ; on » sait que, dans les circonstances les plus favo- » rables d'ailleurs à l'apparition de la rosée, » elle est nulle, ou presque nulle, si le ciel » est couvert ; et que les blanches gelées, si » redoutables au printems et en automne, » n'ont pas lieu à même température, si le » tems est couvert. »

» — 10 $\frac{1}{2}$ *vers minuit ; ce froid continu feroit sans doute* » *du mal aux blés sans cinq à six pouces de neige* » *qui les couvrent, et sous laquelle la terre n'est que* » *peu gelée malgré le grand froid.*

» *La nuit du 8 au 9 a été encore plus froide que* » *les précédentes, et à minuit le thermomètre étoit à* » — 12 $\frac{3}{4}$. *Il aura été encore plus bas vers le matin.* »

Ces degrés sont ceux du thermomètre dit de Réaumur.

Tous les faits mentionnés dans cette remarque de Mr. Pictet, s'expliquent naturellement par les principes posés au §. 320; c'est-à-dire, en considérant les nuages comme le vêtement du sol, et en ayant égard à la chaleur rayonnante.

§. 325. Mr. Copland observe également que la disparution des nuages pendant la nuit, surtout en hiver, est toujours accompagnée d'un accroissement de froid immédiat *.

* Manchester memoirs, T. IV. Part. I. p. 245.

CHAPITRE III.

Epoque de l'année à laquelle cette observation est le plus applicable.

§. 326. J'AI parlé (§§. 239. 240.) de quelques irrégularités dans la marche progressive de l'échauffement et du refroidissement périodiques de la terre. Ces irrégularités doivent en grande partie être attribuées aux vents et aux pluies. Elles tiennent aussi quelquefois au phénomène, que nous avons expliqué ci-dessus (§. 319.), je veux dire à l'effet de la sérénité du tems ou de son opacité. Ceci donne la clef d'un aphorisme météorologique conçu en vers barbares,

Si sol claruerit, se Virgine Purificante;
Multo majus erit frigus post, quam fuit ante.

La fête de la purification de la Vierge est au 2 février, jour qui, avant la réforme grégorienne, répondoit au 13 actuel du même mois. C'est le moment où l'on croyoit avoir lieu d'attendre naturellement que la chaleur iroit en croissant. Voilà pourquoi le pronostic est fixé à cette époque.

Mais comme la marche de la chaleur dépend

alors bien plus de la chaleur rayonnante que de la chaleur solaire, attendu que celle-ci est très-foible et presque constante; tandis que celle-là, également foible, peut varier par des causes accidentelles; on éprouvoit souvent le contraire de ce qu'on attendoit. L'observation avoit fait découvrir que, lorsqu'à l'époque des plus grands froids de l'hiver le tems étoit très-serein, le froid croissoit. Et cela est bien naturel, puisque cette circonstance augmente sensiblement l'émission de chaleur rayonnante (§. 320.). A cette époque la terre est comme un homme placé, par un tems froid, près d'un très-petit feu. La chaleur, que cet homme éprouve ou conserve, dépend beaucoup moins du feu auquel il se chauffe, que des habits dont il est vêtu.

§. 327. La chaleur solaire et la chaleur terrestre rayonnante s'égalisant aux environs des solstices, c'est aux environs des équinoxes que ces deux chaleurs doivent différer davantage. Et cette différence doit se manifester sur le thermomètre, en présentant à ces dernières époques des extrêmes de froid et de chaleur en vingt-quatre heures, plus distans que dans le reste de l'année. C'est ce que confirme la table suivante.

A Londres les variations les plus ordinaires

de température, dans l'espace de vingt-quatre heures, sont pour chaque mois, telles qu'on les voit ici exprimées en degrés de Fahrenheit.

Janv.	6°	Mai	14°	Sept.	18°
Févr.	8	Juin	12	Oct.	14
Mars	20	Juill.	10	Nov.	9
Avril	18	Août	15	Déc.	6

« De là (remarque Mr. Kirwan de qui j'em-
» prunte cette table), de là l'origine des rhumes
» de printems et d'automne *.

* *An estimate of the temper. of diff. latit. p. 74.*

CHAPITRE IV.

Rapport de cette observation au climat.

§. 328. Les divers climats peuvent être comparés, sous le point de vue de leur chaleur, par des moyennes prises, comme on a coutume de faire, entre les observations du thermomètre exposé à l'air. On peut aussi estimer leur chaleur moyenne par celle des sources profondes, comme l'a fait J. Hunter *, parce que ces sources donnent la température du sol profond, laquelle est conforme à la température moyenne de l'atmosphère. On pourroit aussi estimer la chaleur rayonnante, laquelle est proportionnelle à la chaleur interne. On devroit donc trouver la température de la nuit d'autant plus froide relativement à celle du jour, que le climat seroit plus chaud : ce qui expliqueroit peut-être certains phénomènes attestés par les voyageurs.

Mr. Bruce, dans sa traversée du désert de Chendi à Syène, perdit tous ses chameaux (à la vérité malades et épuisés de fatigue) dans

* *Trans. phil.* 1788.

une seule nuit. « Les Arabes dirent tous, » rapporte ce voyageur, que c'étoit l'effet » du froid, et cependant le thermomètre de » Fahrenheit étoit une heure avant le jour » à 42° *. »

Il paroît par les autres observations faites dans cette traversée, ou peu avant et après, que le même thermomètre se tenoit le jour fréquemment à 116° et au-dessus, mais si l'on suppose qu'il se tînt seulement aux heures les plus chaudes environ à 110°, il s'ensuivra que dans l'espace de moins de vingt-quatre heures le thermomètre aura parcouru 68° de Fahrenheit, c'est-à-dire, plus de 30° de R. Il n'est pas étonnant que l'économie animale en fût vivement affectée, et que (comme les sensations de froid et de chaud sont relatives) le degré assez élevé de la nuit (équivalent à $4\frac{4}{9}$ de Réaumur) ait produit l'effet d'un froid rigoureux sur des animaux malades et couchant en plein air.

Et quoique cette différence fût remarquable même dans ce climat, on peut en conclure néanmoins que le refroidissement nocturne, ou en général la chaleur rayonnante de la terre, y est bien supérieure à tout ce qu'on

* *Voyages aux sources du Nil, L. VIII. Chap. 12.*

observe dans nos latitudes *. Car, par un résultat tiré de vingt-sept années d'observations faites à Paris, on trouve que les extrêmes de la chaleur pendant tout ce tems-là n'ont presque pas excédé par leur différence cet intervalle de 30°, qui eut lieu dans le désert pendant une seule nuit. En effet, la plus grande chaleur qui ait eu lieu pendant ces vingt-sept années fut en août +25°,0 de R.,

la moindre chaleur fut — 6 ,7

Différence 31 ,7

Et la plus grande différence qui ait eu lieu pendant tout cet espace de tems, mais dans les mêmes mois, fut dans ceux de janvier de 16°,1. Mais cette différence résulte d'années différentes et de jours très-éloignés.

A Genève, où le climat est très-inconstant, dans le cours de l'année 1788, la plus grande variation en vingt-quatre heures fut du 20 au 21 juin de 12°,7.

Ces termes de comparaison font voir comment la chaleur rayonnante dépend de la

* On trouve, dans les relations, plusieurs autres exemples de même genre. En voici un tiré d'un voyage célèbre. Le long du fleuve Yun-Leang-Ho, on avoit, au lever du soleil, 40° F.; et à midi 80°. MACARTNEY, *Voyage à la Chine, T. III. p. 256. trad. fr.*

chaleur interne, et peuvent servir à déterminer l'une par l'autre.

§. 329. Toutefois je ne dois pas omettre ici une remarque directement contraire, que fait un savant météorologiste. Le P. Cotte, dit que dans la zone torride la chaleur ne diminue pas pendant la nuit d'autant, à beaucoup près, qu'elle diminue dans notre zone tempérée. Mr. Godin, ajoute-t-il, trouva qu'à Saint-Domingue un thermomètre qui marquoit le soir 27 degrés, en marquoit encore 23 le lendemain au matin.

Mais il modifie cette remarque. « Ces petites variations, dit-il, ... ne sont pas » tellement propres aux pays chauds qu'il n'y » en ait aussi quelques-uns, où les variations » de la liqueur sont aussi grandes, et plus » grandes même, que dans ces pays-ci. » Les exemples qu'allègue ici l'auteur ne paroissent pas se rapporter à un intervalle de vingt-quatre heures, mais à des époques éloignées *.

Peut-être ce fait n'est-il pas assez constaté. S'il se vérifie, voici deux réflexions qui peuvent être prises en considération. 1.° Dans les pays humides et maritimes, la quantité de l'évaporation diurne et de la condensation des va-

* *Traité de météorologie du P. Cotte*, p. 284.

peurs pendant la nuit tend à rapprocher les températures de ces deux périodes successives. 2.° Dans les climats d'une chaleur constante, le sol s'échauffe à une plus grande profondeur; et le calorique des couches inférieures, remplaçant sans cesse celui qui s'échappe par le rayonnement, entretient pendant la nuit une chaleur plus forte à la surface ; et cela d'autant plus que, dans les hautes températures, le calorique paroît se mouvoir plus librement dans l'intérieur des corps solides qu'il ne peut faire dans des températures inférieures.

Du reste il est nécessaire d'ajouter que la vérification de cette remarque sur l'estimation du climat par la chaleur rayonnante, n'influera point sur les résultats du calcul comparatif de la chaleur solaire à deux époques où cette chaleur est égale au rayonnement (§§.220 et suiv.). Ce calcul repose uniquement sur l'état stationnaire de la chaleur observée à ces deux époques, état qui est très-évident.

Les faits, résultant d'observations exactes et répétées en divers lieux de la zone torride, doivent être les seuls guides du physicien dans la route que nous indiquons. Et ces faits bien analysés jetteront du jour sur la théorie.

CHAPITRE V.

Sur la limite des alisés.

§. 330. Le vent alisé qui souffle constamment de l'Est tient du Nord dans l'hémisphère boréal, du Sud dans l'hémisphère austral; et cette force perpendiculaire à l'équateur, laquelle trouble la direction du vent d'Est, doit être attibuée à la chaleur solaire qui produit sur la masse entière de l'atmosphère le même effet qu'on observe en petit lorsqu'on établit une communication entre une chambre froide et une chambre chaude. L'air passe par en bas du froid au chaud, et retourne par en haut au froid *. En sorte que, des zones froides à l'équateur, il doit s'établir deux courans opposés,

* A Tcherkin en Abyssinie, 15° de latitude septentrionale, en Décembre 1771. « Pendant la nuit on » distinguoit constamment deux courans d'air, celui » qui étoit le plus bas venoit du Nord-Est et tournoit » le matin un peu à l'Est; tandis que des nuages blancs, » très-légers et très-élevés, courant rapidement du » Sud-Ouest, indiquoient que le vent régnoit en haut » dans cette direction. » *Voyage aux sources du Nil par J. Bruce, traduit par Castera, in*-8.° *T. XI, p.* 130.

dont l'impression, se combinant avec la marée atmosphérique, produit le double alisé qu'on observe *.

La limite moyenne, qui sépare l'alisé Nord-Est de l'alisé Sud-Est, seroit l'équateur même, si les deux hémisphères étoient échauffés au même point.

Mais puisqu'ils sont inégalement chauds (§. 318.), cette limite sera placée de manière à laisser de part et d'autre des segmens sphériques qui contiennent des quantités égales de chaleur : c'est-à-dire qu'elle sera un parallèle de l'hémisphère boréal.

En effet l'observation semble prouver que les alisés Sud-Est s'étendent au-delà de l'équateur jusqu'au 3° de latitude septentrionale, et que les alisés Nord-Est ne s'étendent dans l'hémisphère Nord que jusqu'au 5° de même latitude. En sorte qu'il y a un espace d'environ 2° où les alisés ne sont ni Nord, ni Sud, et où l'irrégularité des vents et des orages

* Par un résultat moyen de toutes les observations anémométriques connues, du 11° au 43° de latitude *Nord*, le vent dominant est le *N. E.* Du 43.° au-delà vers le pôle, c'est le *S.* ou le *S. O. Mémoire du P. Cotte* dans le *Journal de physique*, *octobre* 1791.

marque en quelque sorte la limite de ces deux espèces d'alisés *.

Je dis que l'observation semble prouver. Et j'emploie cette expression de doute, à cause de la difficulté de faire abstraction des causes locales, accidentelles ou périodiques, (surtout du changement de la déclinaison solaire) pour estimer cette limite moyenne.

J'ai cependant recueilli un assez grand nombre d'observations qui confirment cet aperçu. Et j'en ai indiqué quelques-unes dans un mémoire particulier sur ce sujet **.

Carteret, près des îles Charlotte, entre 4° et 8° de latitude, trouva des vents variables, soufflant par intervalles de chaque rhumb de la boussole, avec beaucoup de pluie et des rafales violentes : circonstances, qui semblent caractériser la limite des alisés ; mais le voisinage des terres et celui du grand continent d'Asie, ôtent à cette observation une partie de sa force : et le navigateur même qui l'a faite suppose que c'étoit un des vents de la mousson.

Presque tous les navigateurs, qui parcourent la mer Pacifique, ne rencontrent les alisés dans l'hémisphère Sud que vers le 19° de latitude.

* *Nicholson's Introd. to natur. philos. Vol. II.* p. 57.

** *Journal de physique, Avril* 1791.

« Il n'est pas nouveau dans cette mer, » dit Cook, « de rencontrer si tard le vent alisé » Sud-Est. » M. Forster ajoute: « Suivant notre » observation, nous l'avions trouvé [l'alisé] » au mois d'août 1772, à Madère, quoique » cette île gise par 33° de latitude septen- » trionale *. » Mais il faut remarquer que la principale raison de cette différence est que les navigateurs se trouvent d'ordinaire dans ces parages méridionaux, tandis que le soleil parcourt les signes septentrionaux. Aussi lorsqu'ils s'y trouvent dans la saison de l'été austral, ils éprouvent que les vents alisés soufflent à des latitudes plus élevées. Toutefois il semble que le parallèle, qui sert de limite extérieure à ces vents réguliers du côté du Sud, n'est pas aussi voisin du pôle, qu'il l'est dans l'hémisphère boréal.

Cook dans son troisième voyage, passa deux fois la ligne dans la mer Pacifique. La première fois par le 203° de longitude à l'Est de Greenwich: la seconde fois par le 105° de même longitude. Le journal de son premier passage tend à confirmer mon opinion sur la position de la limite

* Voyage de Cook et Forster, 6 aout 1773, T. I. p. 295 de la traduction françoise.

des alisés. C'étoit en décembre 1777; et cependant l'alisé tint constamment du Sud dans l'hémisphère boréal, et se soutint jusqu'au 5° de latitude. Le journal du second passage paroît tendre au contraire, à détruire ma conjecture; car le vent tint du Nord dans l'hémisphère austral jusqu'au 8° de latitude. Mais il faut observer; 1.° que la saison contribuoit à déterminer cette direction : c'étoit au mois de février 1780; 2.° que le voisinage des terres, et surtout du grand continent d'Asie, étoit probablement la cause principale de cette anomalie; 3.° que ce soupçon est confirmé par une irrégularité remarquable, savoir qu'au 8° le vent soufflait Nord-Ouest, c'est-à-dire, précisément dans le sens contraire au véritable alisé : en sorte que cette observation, corrigée des influences locales cesseroit probablement de faire exception à la loi générale.

Les deux observations suivantes, par les parages où elles ont été faites, semblent assez dégagées de toute influence locale. Il est vrai qu'elles se rapportent l'une et l'autre à l'été boréal, mais à deux époques voisines de l'équinoxe.

En 1771, le 23 août, par 176° 43′ de longitude orientale (du méridien de Paris), sur la ligne équinoxiale, le vent alisé soufflait Sud-

Est. Et le Nord-Est ne fut rencontré qu'au-delà du 8° de latitude septentriouale *.

En 1786, le 22 avril, par 116° 40′ de longitude (à l'Ouest de Greenwich), le vent alisé Sud-Est fut observé se maintenir encore au 3°37′ de latitude septentrionale. Entre ce degré et le 7° de latitude Nord, les vents furent variables et soufflant par rafales ; ce ne fut qu'au 7° 43′ de latitude septentrionale, que le vent se fixa et devint l'alisé Nord-Est constant **.

G. Vancouver trouva, dans l'Atlantique, la limite, telle à peu près que je la fixe ; c'est-à-dire, du côté Nord, à quelques degrés de l'équateur ***.

Les vents alisés nous quittèrent, dit La Pérouse, en août 1785, par les 14° Nord ; et furent constamment de l'Ouest au Sud-Ouest, jusqu'à la ligne : (C'étoit dans la mer du nord peu loin de l'Afrique). Nous trouvâmes, ajoute-t-il, les vents de Sud-Est à la ligne ; et ils m'ont constamment suivi jusque par les 20° 15′ de latitude Sud ****.

---

* *Voyage de Marion et Desclemeur, par Crozet, Paris 1783, in-8°., p. 171 et 169.*

** *Voyage de Dixon, Tables marines.*

*** Voyage de 1790 à 1795, autour du monde par George Vancouver.

**** Voyage de La Pérouse, T. II. p. 25.

Macartney, dans l'Atlantique, allant du Nord au Sud, en novembre 1792, dit : « Vers » le 9° Nord, le vent de Nord-Est commença à » diminuer; ensuite il devint plus Est, et passa » quelquefois au Sud-Est. En traversant l'é- » quateur, nous étions par les 25° de longitude » à l'Ouest de Greenwich; et nous faisions voile » avec une très-bonne brise de Sud-Est *. »

Toutes les tables marines et les relations des navigateurs, offrent à la vérité beaucoup d'anomalies, indépendantes de la déclinaison du soleil, mais d'ordinaire on en démêle les causes en jetant les yeux sur la carte, et observant le gisement des terres. Et à travers ces anomalies, il me semble qu'on discerne assez bien la loi générale.

Je désirerois fixer l'attention des physiciens sur ce phénomène, qui, s'il étoit constaté, auroit peut-être quelques conséquences pratiques; lesquelles, bien que troublées par diverses causes, ne pourroient être absolument négligées dans un art aussi important et aussi compliqué que celui de la navigation.

* Voyage à la Chine de Macartney, traduit par Castera, T. I. p. 194.

SECTION XIII.

REMARQUES DÉTACHÉES.

CHAPITRE I.

Remarque sur l'expensibilité du calorique.

§. 331. J'AI ouï faire en conversation, à Mr. Montgolfier, une remarque sur l'expansibilité du calorique qui me paroît curieuse. Cet ingénieux mécanicien, réfléchissant sur la force des fluides élastiques, avoit songé à tirer parti de celle du calorique en l'employant immédiatement.

Il avoit conçu cette idée en voyant l'effet mécanique de l'expansibilité du calorique dans l'explosion de la poudre à canon, et dans celle des gaz qui détonnent. Dans cette dernière explosion, quoiqu'on trouve dans le développement subit des gaz et de la vapeur aqueuse des agens très-puissans, il doutoit que l'effet fût proportionné à cette cause seule, et pensoit que le calorique y agissoit immédiatement.

Quant à l'explosion de la poudre à canon, il alléguoit les résultats contraires de deux expériences vulgaires. « Plongez, disoit-il,

» dans un canon un boulet rouge ou une » bourre rougie à blanc. L'extérieur du canon » reste froid très long-tems et ne s'échauffe » que peu à peu.

» Au contraire chargez un canon, et faites » feu. A l'instant l'extérieur du canon se trouve » chaud.

» Quelle est la raison de cette différence ? » C'est que le calorique, semblable à tous les » fluides élastiques, déploie son énergie avec » d'autant plus de force et de célérité qu'il a » été plus comprimé. »

CHAPITRE II.

Sur la cause réfrigérante qu'on observe dans les animaux.

§. 332. Je transcrirai ici le court chapitre que j'avois inséré sur ce sujet dans mes *Recherches sur la chaleur* (Genève 1792).

Le pouvoir réfrigérant du corps animal est démontré particulièrement par les belles expériences de MM. Banks et Blagden, qui restèrent 10 minutes dans un air à 198° de Fahrenheit (73,8 de Réaumur).

Est-ce l'évaporation, est-ce la formation de quelques fluides élastiques, est-ce toute autre cause qui produit cet effet?

Il semble qu'on auroit à tenter sur ce sujet quelques expériences intéressantes.

Exposer à une haute température un corps humide, à la surface duquel transsudât continuellement une eau sans cesse renouvelée. Observer le thermomètre plongé dans ce corps.

Telle est la première expérience indiquée. Elle ne paroît pas offrir des difficultés décourageantes, et promet des résultats dignes de l'attention des physiciens.

Les vases de pierre poreuse où les Indiens

font rafraîchir l'eau, les linges mouillés employés dans le même but, toutes les expériences, et la théorie même de l'*évaporation* attestent son pouvoir réfrigérant; mais ces expériences et cette théorie ne font pas voir assez exactement quelles sont les bornes de ce pouvoir, et si cette cause est proportionnée à l'effet qu'on observe dans les animaux.

§. 353. Depuis l'époque où je faisois cette remarque, ce sujet a été repris en considération. Les expériences les plus exactes qui aient été tentées à cet égard sont, je crois, celles dont Mr. F. E. de la Roche a rendu compte dans sa dissertation intitulée, *Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale*, *Paris*, 1806. L'auteur énonce ainsi le résultat de ses recherches « On » peut, je crois, d'après les faits que je viens » de rapporter, regarder l'évaporation comme » suffisante pour rendre compte de la faculté, » que possèdent les animaux, de se maintenir, » dans quelques circonstances, à une tempé- » rature inférieure à celle du milieu qui les » entoure. Mais on ne seroit pas, pour cela, » suffisamment fondé à conclure qu'elle est la » seule cause de cette faculté. » (pag. 63.)

On trouve, sur ce sujet, de belles expériences de Mrs. Hunter et Crawford, dans les Trans. phil. pour 1778 et 1781.

CHAPITRE III.

Sur les glacières naturelles.

§. 334. Les glacières artificielles sont un exemple de la lenteur avec laquelle la chaleur fond les glaces accumulées. La nature produit accidentellement des réservoirs pareils, où elle entretient une telle fraîcheur, qu'on y trouve de la glace en toute saison. J'ai ouï citer diverses glacières de cette espèce, soit en Suisse, soit ailleurs. Mais je crois qu'il en est peu de plus curieuses que celle qui fait l'objet d'une lettre que j'ai déjà publiée, mais que je ne laisserai pas de reproduire ici *, en y joignant quelques observations nouvelles.

Je fis en 1769 un petit voyage en Franche-Comté, dont il m'est resté un souvenir agréable, et quelques notes rapides. J'y trouve la description d'une grotte voisine de Besançon, qui sert de glacière à cette ville, et où la nature

* Je dirai à cette occasion, que je n'ai point cru devoir éviter d'employer des matériaux dont j'avois fait usage ailleurs, lorsque j'ai cru qu'ils pouvoient réfléchir quelque jour sur la théorie dont j'ai entrepris l'exposition.

entretient un hiver perpétuel. Je me garderai bien de mettre sous les yeux du lecteur cette description faite à l'âge de dix-huit ans, et imparfaite à tous égards. Mais peut-être ne sera-t-il pas inutile de réveiller l'attention des physiciens sur ce phénomène, et de les inviter à l'observer de nouveau.

Il a été décrit par Mr. Billerez en 1712, dans l'*Histoire de l'Académie des sciences de Paris;* en 1726, dans un mémoire envoyé à la même académie par un anonyme, cité dans une *Histoire de Bourgogne*, publiée en 1737; et en 1743, par Mr. de Cossigny, dans deux lettres à Réaumur, insérées dans les *Mémoires des savans étrangers*, T. I. Je ne connois que cette dernière description, qui est fort exacte; mais qui n'est pas complète. On y trouve les dimensions de la grotte, des observations thermométriques et quelques discussions relatives aux précédentes descriptions. Cet observateur ne s'occupe point de la recherche des causes, et n'analyse pas le phénomène sous ce point de vue. D'ailleurs le thermomètre dont il se servoit, quoique construit sans doute avec beaucoup de soin (puisque c'étoit un présent de l'académie, et qu'il sortoit probablement des mains de Réaumur), ne pouvoit avoir le degré de

perfection que cet instrument a acquis par des recherches postérieures, et en particulier par celles de Mr. J. A. De Luc. On ne peut donc, par exemple, affirmer avec une parfaite assurance que l'observation de Mr. de Cossigny, faite au mois d'août 1743, qui fixe à demi-degré au-dessus de *zéro* la température du matin dans l'intérieur de la caverne et tout près de la glace, soit exacte. Si elle l'étoit, il paroîtroit que l'état habituel de la grotte en été seroit un état de dégel; ce qui seroit très-remarquable. Je vais donc, dans l'unique but d'exciter une curiosité utile, rendre compte en peu de mots de ce que la lecture de ce mémoire et ma propre observation m'ont appris d'intéressant à ce sujet.

La grotte est située à cinq lieues et demie de Besançon, près de l'abbaye de la Grace-Dieu, et peu élevée au-dessus du sol de cette abbaye. Elle s'ouvre du côté du nord, au milieu d'une vaste forêt, par une rampe de 64 toises de longueur sur 31 toises de chute. La voûte qui recouvre cette rampe est à peu près elliptique et formée d'un seul rocher. Du pied de la rampe au fond de la grotte, on compte environ 22 toises d'un sol plat à l'entrée, et qui va en se relevant vers le fond, du côté du Sud, où la grotte se termine comme un boyau sans

issue. Sa largeur varie peu : la plus grande est de 22 toises et demie. Sa hauteur n'a pas été bien déterminée. On ne fera pas un grand écart en estimant la plus grande de 15 toises et la plus petite de 10.

» A l'œil, le bas de la grotte me parut comme divisé en trois chambres ou compartimens, distingués par le contour du rocher et par la variété des phénomènes. En entrant dans ce lieu, au milieu du mois d'août et par un jour très-chaud, j'éprouvai un froid rigoureux; et le premier objet qui me frappa, fut un bloc de glace entretenu par la distillation continuelle d'une espèce de source qui tombe goutte à goutte du plafond. Toute la caverne, depuis cette entrée jusqu'aux lieux où le sol s'élève, est recouverte d'un pavé de glace solide, dans lequel s'ouvrent quelques puits où l'eau paroît froide et voisine du point de congélation. Ces puits sont formés par la stillation des eaux supérieures, qui entretiennent, par leur chute lente, mais continuelle, ce magasin d'eau et de glace. En sondant un de ces puits, la hauteur de la glace sur le sol me parut être d'environ un pied. Le fond de la grotte, ou le dernier compartiment, est occupé par un massif de rocher qui semble formé par une source supérieure, à la manière des stalactites.

» Tel étoit en gros le spectacle qu'offroit cette grotte en 1769. Mais ce spectacle varie. Si je m'en rapportois aux exagérations de mon guide, le bloc de glace de l'entrée n'auroit été que le reste d'une colonne de glace qui atteignoit jusqu'à la voûte, et plusieurs pareilles colonnes auroient été successivement détruites pour satisfaire à la consommation de la ville de Besançon, à qui, comme je l'ai déjà dit, cette grotte tient lieu de glacière. Mais il paroît seulement qu'il se forme en hiver de grandes mèches ou stalactites de glace, qui pendent du plafond et se fondent ou tombent au printems. Cette circonstance et d'autres changent le nombre et la disposition des blocs et des pyramides qui s'élèvent sur le pavé de glace de la caverne. En septembre 1711, M. Billerez vit trois pyramides de glace de 15 à 20 pieds de haut. A cette époque la caverne contenoit beaucoup plus de glace qu'à celle des observations de M. De Cossigny, en août 1743. Et cependant à cette dernière époque, on comptoit 13 ou 14 pyramides, mais qui n'avoient que 6, 7 ou 8 pieds de haut. En août 1769, je ne remarquai qu'un seul bloc de glace, à peu près de la hauteur de ceux dont parle M. De Cossigny.

En 1707, dans le tems du camp de la

Saône, M. le Duc de Lévi fit enlever, par un très-grand nombre de chariots qui y venoient journellement, toute la glace, tant des pyramides que du sol de la grotte, qu'on découvrit entièrement. Ce fait prouve que la glace de cette grotte peut être détruite et renouvelée en assez peu de tems.

La grotte est-elle un réservoir parfait et sans issue? ou communique-t-elle à quelque réservoir intérieur? C'est un fait qui n'a pas été éclairci. On sait seulement que cette caverne n'est pas la seule qui se trouve dans le même rocher. On voit, à une assez grande hauteur, l'ouverture d'une autre caverne qu'on dit avoir autrefois servi de retraite aux paysans du voisinage. Il semble donc assez naturel de penser qu'il existe d'autres cavernes voisines, auxquelles celle-ci communique par quelque fente de rocher. Si cela n'est point, il faut supposer que l'évaporation et l'affluence des eaux se composent, et que ces causes suffisent pour entretenir à peu près au même niveau la glace qui recouvre le sol.

Cette évaporation est sans doute considérable. Elle produit souvent un brouillard épais dans l'intérieur de la grotte. M. de Cossigny a trouvé ce brouillard plus sensible au mois d'août qu'au mois d'octobre. Il n'y en avoit point lorsque je la visitai.

Tels sont les principaux résultats des observations faites dans cette grotte. Ils laissent beaucoup à désirer, et probablement ne suffisent pas pour déterminer avec précision la cause du principal phénomène. La glace permanente dans cette grotte n'y est pas formée et entretenue par le froid résultant de l'élévation du sol. La forêt qui l'abrite est plus élevée de quelques toises, et on y respire en été un air aussi chaud que dans les lieux les plus voisins de Besançon. Ce fait suffiroit pour exclure une pareille explication, lors même qu'on n'auroit pas des données justes sur la hauteur nécessaire pour produire le froid de congélation, hauteur bien différente de celle où la grotte se trouve placée. Ainsi, en comptant avec H. B. de Saussure, un degré de froid moyen pour chaque centaine de toises d'élévation, à peine trouveroit-on quelque diminution sensible de chaleur par cette cause. Car, quoiqu'on manque d'observations barométriques faites dans ce lieu, on peut juger de son niveau par le chemin qu'on fait pour y parvenir, et il ne me reste le souvenir d'aucune montée escarpée, ni d'aucune vue élevée et qui domine la plaine. Tout ce qu'en dit M. De Cossigny me paroît conforme à ce souvenir, et je me suis persuadé qu'une ou deux centaines de toises

sont la plus grande hauteur verticale qu'on puisse raisonnablement attribuer à la colline dont cette grotte fait partie. On a généralement supposé que le froid extraordinaire qui y règne étoit produit par des sels dont les terres et le roc peuvent être imprégnés. C'est en conséquence de cette supposition que M. De Cossigny soumit à un examen chimique fort exact une espèce de terre glaise qui se trouve au bas de la rampe, et qui demeure toujours molle et boueuse, tandis que la terre voisine est endurcie par le froid. Le résultat de cet examen fut que cette terre ne contient absolument aucune particule saline. Si l'on réfléchit à la quantité de sel nécessaire pour absorber la chaleur d'un aussi vaste récipient, et pour y entretenir un état perpétuel de congélation; on se trouvera, je crois, forcé de renoncer à cette explication. C'est aux chimistes à prononcer là-dessus; et à faire le calcul de la consommation de sel qu'exigeroit un tel appareil, en supposant la possibilité des conditions requises pour obtenir par ce moyen quelqu'effet sensible.

En pesant attentivement les circonstances locales, on y découvre à la vérité quelques causes de froid permanentes. Mais ces causes semblent plutôt propres à entretenir une grande fraîcheur

fraîcheur ou à diminuer la chaleur de l'été, qu'à produire un froid tel que celui qui règne dans la caverne. Premièrement de grands arbres en ombragent l'entrée ; il est, m'a-t-on dit, défendu sous des peines sévères d'en abattre aucun, de peur de priver la grotte d'un abri nécessaire. En second lieu, cette entrée est située au Nord presque plein ; tirant un peu vers l'Est, ce qui est la situation la plus fraîche qu'on puisse choisir, et la plus propre à faciliter l'effet des vents glacés qui soufflent de ce rhumb. Enfin la rampe est rapide, et la grotte profonde et recouverte d'une épaisse voûte. Ces trois circonstances réunies constituent, à ce qu'il me semble, une très-bonne *glacière* ; par où j'entends un réservoir propre à conserver pendant l'été la glace qui peut s'y entasser l'hiver.

Mais comment cette glace s'entasse-t-elle? — On sait que les eaux supérieures forment au plafond pendant l'hiver des cierges, des stalactites de glace. Ces glaçons suspendus et accrus sans cesse par la stillation des mêmes sources qui les ont produits, tombent enfin, entraînés par leur propre poids, et forment autant de noyaux, autour desquels se congèlent les eaux dont le sol de la grotte est toujours inondé. En même tems le souffle des

vents du nord accumule la neige au pied de la rampe, qui est découverte en partie et exposée par le haut à toutes les intempéries de l'air. Ainsi se forme pendant l'hiver un entassement irrégulier de glaces et de neiges, que les premières chaleurs du printems commencent à faire couler, mais que les ardeurs de l'été ne peuvent achever de dissoudre. L'hiver qui suit a donc plus de facilité encore à augmenter la masse de ces pyramides de glace, qui ont résisté jusqu'en automne. Et si les hommes ne travailloient point à la diminuer, il arriveroit qu'elle rempliroit toute la caverne, du moins jusqu'à une très-grande hauteur.

Je suis donc très-porté à croire que le procédé de la nature est ici précisément semblable à celui de l'art; que, sans aucune cause particulière de froid, la glacière naturelle de Besançon conserve, dans la température modérée des caves profondes, les monceaux de neige et de glace que les vents et les eaux supérieures y accumulent pendant l'hiver; et que la fonte de ces neiges et de ces glaces accumulées y forme peu-à-peu ce pavé de glace, parsemé de blocs et de pyramides, qu'on y observe pendant l'été.

Cette opinion est bien confirmée par les phénomènes qu'offrent d'autres glacières natu-

relles. J'en donnerai pour exemple celle qu'a décrite un observateur très-exercé *, dans un mémoire plus étendu, dont la note suivante est extraite.

» En 1806, je fis une course de botanique dans une vallée éloignée de sept lieues de Genève, connue sous le nom de Vallée du Reposoir, et qui est décrite dans le premier volume du Voyage dans les Alpes d'H. Bén. de Saussure.

» Mon guide me parla beaucoup d'une glacière naturelle, située dans la montagne qui borne cette vallée au Nord-Ouest. Il me la décrivit comme un palais de fée; entr'autres choses extraordinaires, il soutenoit que la glace s'y formoit en été plutôt qu'en hiver. Le tems constamment pluvieux m'empêcha de la visiter.

» J'y fis une nouvelle course en 1807, le 21 juillet, dans une saison très-chaude. Ce fut à six heures et demie du matin, que j'arrivai à l'entrée de la glacière. Je n'avois point d'instrument pour en mesurer l'élévation, mais je la crois de 7 à 800 toises au-dessus du Lac Léman. Elle est située sous une masse de

* Mr. J. A. Colladon, Pharmacien, de la Soc. des Arts et de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de Genève.

rochers, dans un petit vallon en pente, incliné du Nord au Sud: ce vallon est assez large pour que les vents y aient accès.

» L'entrée de la glacière est au Sud-Ouest; elle a 33 pieds de largeur et 17 de hauteur. La grotte à 122 pieds de longueur et 79 de largeur.

» A gauche, en entrant, les rochers sont assis inégalement les uns au-dessus des autres, formant des espèces de gradins.

» A droite, à quelques pieds de l'entrée, on voyoit une petite étendue d'eau, qui paroissoit avoir un pied dans sa plus grande profondeur, et qui nageoit sur une glace très-dure, dont je ne pus mesurer l'épaisseur. Je n'en mesurai pas d'ailleurs les autres dimensions.

» Au fond de la glacière, on voyoit, contre les rochers, quelques belles stalactites d'une glace pure et transparente.

» On descend de deux ou trois pieds, depuis l'entrée jusqu'au bord de l'eau.

» En entrant, on est saisi par la fraîche température de ce lieu; deux thermomètres de Réaumur, dont l'un fut placé dans l'eau et l'autre à quelques pas de l'entrée près de terre, accusoient 0; un de ces thermomètres, placé à l'ombre à quelques pas hors de l'entrée de la glacière étoit à + 9.

» Je n'aperçus aucun courant d'air, aucune communication du fond de la glacière avec l'air extérieur. J'avois si chaud, malgré l'heure matinale, que je ne pus rester long-tems dans un lieu aussi frais. On éprouve un sentiment d'étonnement, en voyant, au cœur de l'été, ces amas de glace et cette eau qui se maintient au degré de la congélation; en sentant l'air glacé d'un lieu si peu profond, et dont l'entrée est assez grande pour donner un libre accès aux vents du midi.

» Curieux de connoître l'état de cette glacière en d'autres saisons, j'y envoyai au mois de décembre 1807, un des hommes qui m'avoient accompagné et sur l'exactitude duquel je pouvois compter, après l'avoir armé de deux bons thermomètres, et lui en avoir enseigné la marche.

» Il y fut, au travers des neiges, le 22 décembre, à deux heures de l'après-midi.

» L'espace occupé par l'eau, en entrant dans la glacière, à droite, étoit absolument gelé. Il avoit 33 pieds de longueur et 15 de largeur. A gauche, les stalactites de glace étoient plus grandes et plus nombreuses qu'en été.

» Le thermomètre, mis sur la glace, descendit d'un degré au-dessous de zéro. A vingt-cinq pieds de l'entrée de la glacière, en dedans, le

thermomètre indiquoit + 3 ½. A 15 pieds de l'entrée, en dehors, au soleil, il indiquoit + 4.

» Au coucher du soleil, les thermomètres indiquèrent 0. Descendu dans la vallée, à 4 h. ½ du soir, le thermomètre étoit à — 6.

» Un jeune herboriste, fort intelligent, que j'avois chargé d'examiner l'état de la glacière, y avoit été le 15 septembre de la même année. Il n'y avoit point trouvé d'eau, mais il avoit vu la place qu'elle occupoit remplie par un plateau de glace, long de 44 pieds, et large de 23.

» Le guide, que j'y avois envoyé au mois de décembre 1807, y retourna le 28 mai 1808, à deux heures et demie de l'après-midi, et y trouva, en entrant à droite, de l'eau qui surnageoit la glace sur un espace de 42 pieds en longueur, sur 19 pieds de largeur, et 3 pouces et demi de profondeur. Le thermomètre, plongé pendant deux minutes dans cette eau, accusoit 0.

» Suspendu au milieu de la glacière, il accusoit + 2. A 12 pieds, en dehors de la glacière, il accusoit également + 2.

» Ces observations, tout imparfaites qu'elles sont, suffisent au moins pour faire voir que la glace de cette grotte ne se forme pas en été plutôt qu'en hiver, comme le pensoit mon guide. Elles laissent entrevoir d'ailleurs assez

clairement l'origine de ces amas de glaces.

» On ne peut attribuer ce phénomène à aucune cause plus probable, qu'à la filtration des eaux et aux neiges que les vents amènent dans cette caverne. De là naît cet amas d'eau, dont l'état de fluidité ou de solidité dépend de la température de l'air extérieur.

» La fraîcheur qui règne dans cette grotte, quoiqu'elle soit peu profonde, est suffisamment expliquée par l'absorption continuelle du calorique nécessaire pour maintenir l'eau à l'état de liquidité. »

FIN.

NOTES.

NOTE A, au §. 2, p. 5.

Sur la conductibilité.

JE prie que l'on veuille bien remarquer que, pour traiter avec clarté un sujet compliqué, on est obligé de le traiter par parties; ce qui ne suppose point, qu'en s'occupant de l'une, on oublie l'existence de l'autre. Je traite du calorique rayonnant, sans jamais cesser un instant d'admettre les phénomènes de la conductibilité. Dans les précédens écrits où je me suis occupé du même sujet, j'ai toujours fait mention d'une double cause ou d'un double mode de propagation de la chaleur. Et l'on verra que dans cet ouvrage, tout en traitant du rayonnement, je ne perds jamais de vue les effets de la faculté conductrice, quoique je m'attache sévèrement à ne point *traiter* de celle-ci. Je suis forcé de faire cette remarque par une critique que je rencontre dans l'ouvrage d'un grand chimiste.

« On voit, » dit Mr. Thomson, » par cet ex-
» posé de la théorie de Prevost, qu'elle est entière-
» ment fondée sur le rayonnement du calorique,
» et que la faculté des corps pour le conduire n'y
» entre pour rien. On ne peut à la vérité révoquer

» en doute le rayonnement du calorique ; il est » même extrêmement probable que c'est par lui » que s'opère la distribution égale de température, » qui n'auroit lieu que très-lentement, et peut-être » même jamais complettement, par la seule faculté » conductrice du calorique ; mais en même tems, » on ne peut disconvenir, que cette dernière pro- » priété des corps n'influe d'une manière sensible » sur la durée du tems nécessaire pour que les » corps contigus arrivent à l'égalité de température. » L'hypothèse de Prevost pourroit donc être re- » gardée comme imparfaite en cela seul qu'il n'y » a pas eu égard à cette circonstance. » (*Système* de chimie de Th. Thomson, trad. par Riffault, T. II. p. 125.)

Ma réponse est qu'en traitant de la propagation de la chaleur rayonnante, je n'ai pas traité de la propagation de la chaleur en général. Sous ce dernier point de vue, ma théorie seroit sans contredit fort imparfaite, ou du moins fort imparfaitement développée. Les Rumford, les Haüy, les Biot, les Gay-Lussac, et d'autres célèbres physiciens, peuvent embrasser ce sujet dans toute son étendue. Je me suis borné au seul point sur lequel j'ai cru pouvoir jeter quelque foible clarté.

NOTE B, §. 6, p. 11.

Sur le mode de propagation de la lumière.

L'ARGUMENT en faveur de l'émission, qui est ici indiqué, et que je soumets au jugement des physiciens, peut être présenté plus clairement, en le restreignant au seul phénomène de la réfraction *extraordinaire* produite par quelques cristaux diaphanes. Je vais donc le reprendre sous cette forme, et avec assez de détail, pour que l'on puisse aisément juger de sa valeur.

La réfraction extraordinaire du cristal d'Islande a été l'objet des recherches de Newton, de Huyghens et de plusieurs autres physiciens éminens. Huyghens l'expliquoit en supposant dans ce cristal deux espèces d'ondulations lumineuses, l'une pour la réfraction ordinaire et l'autre pour l'extraordinaire. Dans celle-ci, la vitesse étoit variable et représentée par les rayons d'un ellipsoïde de révolution, applati à ses pôles, ayant pour centre le point d'incidence, et dont l'axe de révolution seroit parallèle à l'axe du cristal. Cette supposition explique en effet le phénomène. Mais si l'on met deux cristaux transparens l'un sur l'autre, il naît une classe

nouvelle de phénomènes que l'hypothèse n'explique point. « Lorsqu'on eut fait remarquer à » Huyghens ce phénomène dans le cristal d'Is» lande, » dit La Place *, » il convint, avec » la candeur qui caractérise un ami sincère de la » vérité, qu'il étoit inexplicable dans ses hypothèses. »

Ce sujet ayant été repris récemment par quelques physiciens anglois et françois, la loi de Huyghens a été reconnue parfaitement juste pour la classe de phénomènes pour laquelle il l'avoit établie; et quant aux phénomènes qu'elle n'explique pas, c'est-à-dire, ceux qui dépendent de la superposition de deux cristaux, on a déterminé une nouvelle loi, de laquelle il résulte, qu'en entrant dans un milieu de cette espèce, la lumière reçoit deux modifications différentes, relatives à la position du rayon par rapport à l'axe du cristal.

L'observation étant ainsi parvenue à déterminer la loi du phénomène, il s'agissoit d'y appliquer le calcul, afin de voir si cette loi dépendoit des principes connus de la mécanique. Mr. La Place a fait cette application et a démontré que cette loi étoit une conséquence du principe de la moindre

* *Sur le mouvement de la lumière*, p. 5.

action. Or le principe de la moindre action atteste des forces attractives ou répulsives. Donc la loi fournie par l'observation, dans le cas de la réfraction qu'opère le cristal d'Islande, atteste l'action de telles forces. Mais de telles forces ne peuvent être conçues nettement que dans le système de l'émission. Donc ce système doit être préféré à celui des ondes.

Toute la force de ce raisonnement dépend de cette assertion, que le principe de la moindre action suppose quelques forces attractives ou répulsives. J'ai donc prié un habile mathématicien (Mr. Schaub), de m'indiquer les motifs de confiance en cette assertion, dont l'exposé pourroit être fait sommairement et sans calcul. Il a bien voulu me fournir sur cet objet les éclaircissemens suivans.

Note de Mr. Schaub.

Le principe de la moindre action, découvert par Maupertuis, consiste en ce que dans le mouvement des corps qui agissent les uns sur les autres, la somme des produits des masses par les vitesses et par les espaces parcourus, est un *minimum*. Euler a envisagé ce principe d'une manière plus générale dans un appendice qui termine son traité

des Isopérimètres, et il a démontré le premier que, dans les trajectoires décrites par des forces centrales, l'intégrale de la vitesse multipliée par l'élément de la courbe fait toujours un *maximum* ou un *minimum*.

On a voulu prouver ce principe par des considérations métaphysiques; mais La Grange a démontré dans sa *Mécanique analytique*, qu'il n'est qu'un résultat des lois de la mécanique. Ce grand Géomètre fait voir, par une heureuse combinaison du principe des vitesses virtuelles avec celui que d'Alembert a donné dans sa Dynamique, qu'on peut étendre au mouvement d'un système de corps la formule de son équilibre, en considérant, que, si l'on décompose le mouvement instantanée du système en deux autres, dont l'un subsiste, et dont l'autre est détruit par les forces qui sollicitent les différens corps du système, l'équilibre doit exister entre ces forces et le mouvement perdu.

La Grange trouve ainsi, pour le mouvement des corps, une équation générale, qui renferme la solution de tous les problèmes de dynamique; il en tire comme corollaires, en employant les transformations et les hypothèses convenables, tous les théorèmes sur le mouvement, que différens

auteurs

auteurs avoient présentés comme des principes primitifs de la science, et entr'autres celui de la moindre action; mais pour la démonstration de ce principe, il est nécessaire de supposer que les forces accélératrices tendent à des centres fixes, ou aux corps mêmes du système, et sont proportionnelles à des fonctions quelconques des distances.

On peut conclure de là, que lorsque la loi de la moindre action a lieu dans quelque phénomène, les forces accélératrices qui le produisent sont nécessairement proportionnelles à des fonctions quelconques des distances, et doivent être regardées, par conséquent, comme des forces d'attraction ou de répulsion.

NOTE C, §. 6, p. 12.

Sur la chaleur produite par le frottement.

JE me permettrai d'offrir une conception à ce sujet qui ne me semble pas en contradiction avec les faits connus. Le calorique abonde dans tous les corps. Il manifeste avec eux des affinités. D'après la loi générale des attractions en masse, il y a lieu de croire que ce fluide est très-fortement attiré par les corps jusqu'à un certain degré de saturation.

Si l'on enlève à un corps le calorique dont il s'est ainsi emparé, il est probable que ce corps enlèvera soudainement le calorique attaché aux corps voisins; en sorte que, de proche en proche, en un tems très-court, le déficit sera comblé, parce qu'il se fera une répartition très-prompte depuis les corps les plus éloignés; à peu près comme le niveau de l'eau se rétablit lorsqu'on le trouble. Ce calorique de saturation est inerte, et sans effet pour changer les dimensions des corps auxquels il est attaché. Il ne devient actif et thermométrique que lorsqu'on le dégage. Dans son état d'inertie il n'agit point pour opérer la dilatation, la liquidité, ou l'expansion. Mais si, outre ce calorique de saturation, il y en a d'autre dans un corps; ce calorique excédant n'est point pompé ou aspiré par le corps avec avidité comme le précédent, il y entre ou en sort librement et s'y comporte comme on l'observe dans les expériences thermométriques. Maintenant, en frottant un corps au point de l'échauffer, il est probable qu'on lui enlève quelque partie de son feu de saturation. Aussitôt donc ce corps frotté remplace, par les corps contigus (par le milieu ambiant, par les supports de la machine, etc.), ce qui lui manque pour la saturation. Et le

calorique, sans cesse dégagé, devient actif ou thermométrique. Ainsi sembleroit s'expliquer la création continuelle de la chaleur par le frottement. Du reste, je prie que l'on n'envisage cette explication, que comme un exemple, destiné à montrer, que le phénomène dont il s'agit ne peut pas faire objection à la supposition d'un calorique matériel, puisqu'il peut dépendre de la densité qu'a acquise la partie de ce fluide dont les corps sont saturés, ainsi que de la rapidité avec laquelle se répare la rupture de cette espèce d'équilibre ou le vide opéré dans cette saturation.

Et pour éclaircir ceci par un exemple d'un tout autre genre, considérons le potassium ou le soudium à l'état de potasse ou de soude. Ils sont saturés d'oxigène, comme tout corps l'est de calorique. Dès lors (en vertu des lois communes des affinités ou attractions en masse) l'action de ces métaux sur l'oxigène cesse, et l'oxigène agit librement autour d'eux selon sa nature, comme le calorique agit selon la sienne autour des corps qui en sont saturés, pour dilater, ou liquéfier ceux qui en sont susceptibles. Supposons que, par un procédé quelconque, on enlève au métal son oxigène de saturation, que ce métal dépouillé soit réduit en poudre

et mêlé à du métal pleinement oxidé. Il est probable que ces deux poudres métalliques se partageront l'oxigène, dont une seule est en possession, et qu'elles resteront demi-oxidées. Ainsi je conçois que, si la secousse du frottement enlève à un corps quelque partie de son calorique de saturation, les corps contigus le lui rendent, et sont eux-mêmes saturés par leurs voisins.

Je répète que tout ceci n'est qu'une conception de possibilité.

NOTE D, au §. 9, p. 17.

Sur une hypothèse de Hutton *.

LE *Système de chimie* de Mr. Th. Thomson, prof.r à l'Université d'Édimbourg, traduit récemment par Mr. Riffault (Paris, 1809.), me force d'ajouter ici quelques nouveaux détails. Mon opinion sur le calorique s'y trouve exposée, (T. II. p. 121.). L'auteur en fait l'application à l'expérience de la réflexion du froid par deux miroirs concaves conjugués, et termine cet exposé par ces mots (p. 248.) : « Telle est à peu près l'explication » que Prevost et le Dr. Hutton donnèrent de ce » fait. »

On pourroit inférer de cette expression que le Dr. Hutton a eu quelque part à l'explication que j'ai donnée; et comme il n'en a eu aucune, je crois devoir le dire.

Mr. J. Hutton avoit pris en main la défense du phlogistique dans un ouvrage que je ne connois pas,

---

* Cette note ne peut être bien comprise que par ceux de mes lecteurs qui connoissent déjà mon explication de la réflexion du froid. Je prie les autres de l'omettre, ou d'en renvoyer la lecture au moment où ils auront achevé celle de la Section IV de cet ouvrage.

mais où il ne paroît pas qu'il se fût occupé du rayonnement du calorique. C'est en 1794 seulement, que parut à Édimbourg l'ouvrage où il en est question; et par conséquent trois ans après que j'avois publié dans le Journal de Physique mon explication de la réflexion du froid. L'ouvrage de Mr. Hutton est intitulé : *Dissertation sur la philosophie de la lumière, de la chaleur et du feu* *.

Les idées de l'auteur sur le feu et sur la lumière sont trop longues à exposer, pour que j'entreprenne de le faire ici. Je dirai seulement qu'il établit un rayonnement de lumière invisible, à l'état d'équilibre apparent.

Quant à l'équilibre réel, Mr. Hutton paroît croire qu'il n'a jamais lieu. Il se représente les corps comme étant dans une oscillation de chaleur perpétuelle. On voit cette idée dominer dans l'explication qu'il donne de la réflexion du froid; explication fondée sur deux principes faux, savoir : 1.° que, dans un lieu de température uniforme,

* A Dissertation on the philosophy of light, heat and fire, by James Hutton, M. D. and F. R. S. E. Edimburgh, 1794. (un vol. in-8.° de 326 pages).

un corps placé au foyer d'un miroir concave s'échauffe. (J'ai démontré le contraire au §. 105.). 2.° que le succès de l'expérience de la réflexion du froid dépend de la grandeur du matras de glace placé au foyer conjugué, (tandis que la radiation et la réflexion du froid ont lieu en diverses circonstances, absolument indépendantes de la grandeur du matras).

Et pour que le lecteur juge par lui-même de la solidité de cette explication, je vais la donner dans les termes de l'auteur littéralement traduits *.

« Considérons maintenant l'état particulier des » choses, dans cette expérience, qui est le sujet » de notre raisonnement.

» Le thermomètre, qui est le corps qui doit » être chauffé ou refroidi au foyer de l'un des » miroirs, est un thermomètre d'air : la boule » de ce thermomètre n'a que trois ou quatre » lignes de diamètre; et on l'a soufflée aussi mince » qu'il a été possible de le faire. Par conséquent » ce corps est affecté par une très-petite quantité » de chaleur; et il est exposé par une si grande » surface au milieu du fluide qui l'entoure, qu'il

* Ibid. Part. III. p. 92.

» doit être vite ramené à la température de l'at-
» mosphère par la diffusion ou la communication
» de sa chaleur *.

» C'est dans cet état que nous devons considérer
» le thermomètre indicateur dans notre expérience.
» Comme il est placé au foyer d'un miroir réflé-
» chissant, une grande partie de la lumière, qui
» tombe dans une direction convenable sur le mi-
» roir, est concentrée au foyer de manière à ac-
» croître la chaleur du thermomètre, et l'air am-
» biant lui enlève continuellement cette chaleur
» accrue. Ce corps donc, dans ces circonstances,
» recevra continuellement de la chaleur par voie
» d'irradiation, et émettra continuellement de la
» chaleur par diffusion; tandis que, d'après notre
» observation, nous croirions qu'il est stationnaire,
» et qu'il ne reçoit ni n'émet rien, si la quantité
» du changement est suffisamment petite, ou si

---

* Il est essentiel de remarquer ici que, dans les idées de Mr. Hutton le mot *chaleur* est incompatible avec l'épithète *rayonnante*. Ainsi quand il parle de la diffusion ou de la communication de la chaleur faite dans l'atmosphère, il ne peut être question que de ce que j'ai coutume d'appeler la communication par voie de conductibilité. *P. P. p.*

» les moyens d'observation ne sont pas suffisamment exacts.

» Nous considérons ce thermomètre extrêmement » sensible, placé au foyer d'un des miroirs, tandis » qu'il n'y a rien au foyer de l'autre, et que tous » les corps environnans sont supposés être à la » même température. En ce cas, nous devons » supposer que la température du thermomètre » sera accrue, quoique, par la petitesse de cet accroissement, et par l'opération de l'air qui prévient une accumulation ultérieure de chaleur, » ce degré de chaleur accrue puisse être trop petit » pour devenir un objet d'observation. Maintenant » qu'on place à l'autre foyer un corps massif, » tel qu'un matras d'eau de même température » que les corps environnans. Ici il y a évidemment » (d'après le principe dont je pars, savoir, que » les corps émettent toujours de la lumière invisible) une cause d'accroissement ultérieur de la » chaleur du thermomètre *, quoique cet accroissement puisse encore peut-être se trouver un

* Il est au contraire démontré qu'il n'y a là aucune cause d'accroissement de la chaleur du thermomètre, comme je le fais voir au §. 105. *P, P. p.*

» objet trop petit pour l'observation, à moins qu'elle » ne se fasse avec art. Mais c'est un fait dont, » quant à présent, nous ne sommes pas informés; » c'est un fait dont Mr. Pictet auroit certainement » eu occasion d'être informé, s'il avoit pris ce » sujet en considération; et c'est le fait peut-être » duquel dépend l'explication de son expérience, » en ce qui concerne le froid *.

» Pour voir cela, supposons que le thermomètre » soit d'un demi-degré plus chaud que la tempé- » rature des corps environnans **; ensuite, au lieu » d'un matras de la température commune du » lieu, qu'on en place un plein de neige, comme » fit Mr. Pictet dans cette expérience. Il doit » être évident, qu'en ce cas la chaleur du ther- » momètre doit être diminuée, non par la ré- » flexion ou concentration d'aucune émanation » froide du matras, mais par une moindre irra-

* Si l'explication dépend de cette circonstance, elle est inadmissible; car la théorie et l'expérience démontrent qu'il n'y a en ce cas aucun accroissement de chaleur. Voyez les §§. 105, 109, 110, 111. *P. P. p.*

** Pour ceux qui savent combien il est difficile de constater les températures, dans les cas où elles changent, cette supposition ne paroîtra pas déraisonnable. *Note de Mr. Hutton.*

» diation de cette émanation par laquelle le ther-
» momètre avoit été échauffé auparavant. Enlevez
» ensuite le matras froid et le thermomètre s'éle-
» vera dans sa température. Augmentez le froid
» du matras, comme fit Mr. Pictet, par le ver-
» sement de l'acide nitreux, et le thermomètre
» baissera dans sa température.

» L'aspect général philosophique du sujet, que
» je propose maintenant, est celui-ci. Premièrement
» lorsque nous avons un thermomètre placé au
» foyer d'un miroir concave, les rayons, qui en
» général viennent du côté opposé, sont concen-
» trés par la réflexion du miroir, et sont ainsi
» employés à échauffer le thermomètre au-delà de
» la température commune du lieu *. Secondement,
» quand une grande cause refroidissante est intro-
» duite du côté d'où la lumière invisible avoit été
» rayonnée au miroir, la chaleur acquise par la
» concentration, quelle qu'elle puisse être, doit
» se trouver diminuée. Par-là le thermomètre sera
» affecté en apparence par l'irradiation du froid,

* C'est ce principe fondamental de l'explication de Mr. Hutton dont la fausseté est démontrée au §. 105. *P. P. p.*

» lorsque dans la réalité il n'est affecté que par » l'irradiation d'une moindre quantité de lumière » invisible échauffante. »

Ainsi l'explication de Mr. Hutton peut être résumée comme suit : 1.° Il n'y a jamais d'équilibre réel de chaleur, c'est pourquoi on peut toujours supposer quelque rayonnement de lumière insensible. 2.° Donc la boule d'un thermomètre au foyer d'un miroir concave s'échauffe, quoique autour d'elle, tout soit dans un état d'équilibre apparent. 3.° Mais cet échauffement, produit par voie de rayonnement, est diminué sans cesse par la diffusion, c'est-à-dire, par le contact de l'air ambiant; ce qui produit des oscillations de chaleur. 4.° Dans ces circonstances un grand matras, placé au foyer du miroir conjugué, doit diminuer le rayonnement, ou la cause échauffante. Donc il doit produire un refroidissement apparent.

Il résulte de là que Mr. Hutton ne s'est fait aucune idée de l'équilibre mobile; qu'il n'explique la réflexion du froid qu'au moyen d'une supposition fausse, savoir, que, dans un lieu de température uniforme, le thermomètre focal s'élève au-dessus de la température du lieu; et que, par conséquent, c'est par erreur, qu'on a indiqué ce

physicien comme ayant donné, du phénomène en question, la même explication que moi.

Je voudrois fort qu'il eût en effet adopté la théorie que j'ai exposée. Je m'honorerois de son suffrage. Mais il me suffit de mettre en regard nos deux explications, pour en saisir la différence.

NOTE E, §. 173, p. 187.

Sur une expérience de Mr. Fordyce.

ON lit dans les *Transactions philosophiques* * un mémoire de Mr. Fordyce, dans lequel il rend compte d'une expérience relative à l'accumulation de la chaleur, qui a quelque rapport avec celle que je viens de commenter, et que j'expliquois à peu près de même dans un écrit précédent **.

En supprimant le détail de cette expérience, elle se réduit à chauffer également deux plaques de différentes matières, en les exposant au soleil par une de leurs faces, et à mesurer du côté opposé la température produite à une petite distance, dans les diverses périodes d'échauffement et de refroidissement.

---

* *Vol. LXXVII*, p. 300.

** *Recherches sur la chaleur*, §. 145.

L'une des plaques est de carton, l'autre de fer. Elles sont égales en volume. Mais en poids, celle de fer est à celle de carton à-peu près comme 9 est à 1. Toutes les précautions sont prises pour que d'ailleurs les circonstances soient les mêmes dans les deux appareils, et entr'autres pour que la quantité de l'irradiation solaire, qui se répand sur la face supérieure des plaques horizontales, soit bien égale de part et d'autre.

Les résultats de l'expérience sont ceux-ci. 1.° Le thermomètre placé sous la plaque de fer monte plus tard et plus lentement. 2.° Il arrive enfin à un maximum plus élevé. 3.° Lorsqu'on fait cesser l'irradiation solaire, il redescend plus lentement.

La densité différente des deux plaques peut influer sur ces faits, et paroît même les expliquer. Je ne prétends pas dire que cette explication soit complète, parce qu'il faudroit, et de nouvelles expériences, et de nouveaux calculs, pour comparer exactement la cause à l'effet *. Mais je ne crois

* En particulier il faudroit rechercher l'influence que peut avoir ici la nature propre de ces corps, indépendamment de leur densité.

pas inutile d'indiquer la manière dont je conçois cette influence.

Si l'on se représente d'un côté une plaque simple, et de l'autre une plaque composée de neuf couches homogènes semblables à la première, on verra aisément que lorsque le feu a pénétré la plaque simple, il lui reste encore huit couches à percer pour arriver au thermomètre placé sous la plaque composée *. Et suivant sous ce point de vue le progrès de l'expérience, on devinera tous les résultats qu'a observés son ingénieux auteur.

NOTE F, au §. 177, p. 192.

Théorème de Mr. Leslie.

« QUE le miroir LAM soit une petite portion de sphère ayant pour centre C, et pour axe ACD. Que l'objet rayonnant, situé directement de front en D, soit un cercle, dont le diamètre GH soit égal à LM, largeur du miroir. Ce cercle peut être considéré comme égal à la surface concave du miroir, puisque cette surface est égale à un cercle Fig. 1.

* La loi que suit le refroidissement relativement aux masses, a été déterminée par Richmann. Et je l'ai indiquée au §. 50.

qui a pour rayon la corde AL, au lieu de DG ou $\frac{1}{2}$ LM; et puisque dans les petits segmens, le rapport des cordes et celui des sinus correspondans approche beaucoup de l'égalité. Pour déterminer l'image focale, il suffit d'indiquer le point de concours de deux rayons qui, après la réflexion, émanent d'un point quelconque du cercle rayonnant. Le rayon GCM, qui passe par le centre du miroir, tombant perpendiculairement, sera réfléchi selon la direction opposée; et le rayon GA, incident au sommet, sera réfléchi vers H, l'angle CAH étant égal à CAG. Le point d'intersection, K, est donc le foyer de G. On prouvera de même que I est le foyer de H. D'où l'on inférera que l'image est un cercle dont le diamètre est IK.

» On voit par-là que l'objet rayonnant et son image sous-tendent des angles égaux, soit au centre soit au sommet du miroir; car GCH=ICK, et GAH est le même angle que IAK. La lumière qui tombe sur le miroir, est évidemment concentrée au foyer dans le rapport de LM^2 à IK^2, ou de AD^2 à AF^2. Mais c'est une proposition d'optique élémentaire, que la densité des rayons est inversement comme le carré de la distance du point d'où ils émanent. Prenez OD=AF; la densité de la lumière reçue

en

en O sera à celle qui est incidente en A, comme AD^2 est à AF^2. Par conséquent, si l'objet qui la reçoit étoit transporté en O, il seroit éclairé par la lumière directe, précisément autant qu'il peut l'être en F par la lumière réfléchie. En d'autres termes, l'intensité de l'éclairement au foyer ne seroit point changé, si l'on supposoit que le miroir fût converti en une simple surface rayonnante, de la même nature que le cercle primitif GH.

» Par raison de simplicité, j'ai supposé la surface rayonnante de forme circulaire, et de même grandeur que le miroir. Mais il est facile de voir que la démonstration précédente s'applique également à tout autre cas. En effet l'éclairement de l'image focale n'est en aucune façon affectée par la grandeur de l'objet rayonnant, auquel elle est toujours semblable et proportionnelle. »

Tel est le théorème de Mr. Leslie et la démonstration qu'il en donne.

On peut la résumer ainsi :

L'éclairement est directement comme le nombre des rayons et inversement comme la surface sur laquelle ils se répandent. Le nombre des rayons est inversement comme le carré de la distance au corps lumineux. Or dans le cas actuel, les surfaces sont

directement comme le carré de cette même distance. Donc l'éclairement est constant à toute distance.

On prouve que les surfaces de l'objet et de l'image sont entr'elles comme le carré de leur distance au miroir, en montrant que de l'origine de l'axe leurs diamètres sont vus sous le même angle. Or ce qui est dit de l'origine de l'axe peut s'étendre aux points très-voisins.

NOTE G, au §. 276, p. 326.

Théorème de Mr. Bénédict Prevost.

J'ÉTOIS occupé de ce sujet, et je ne connoissois point encore cette proposition de la Pyrométrie de Lambert, lorsque mon parent Bénédict Prevost * la découvrit de son côté et m'en fit part, dans une lettre en date de Montauban le 3 décembre 1791. Je la présenterai ici sous la forme qu'il lui donna et sous laquelle je l'ai précédemment publiée **.

L'artifice de cette démonstration consiste à supposer la terre entièrement immobile (ce qui ne

* Le même physicien de qui j'ai discuté les expériences sur l'eau qui se dépose de l'air, §§. 192. et suiv.

** Rech. sur la chaleur, §. 93.

change rien à l'effet); et à considérer un seul faisceau de rayons, donné de position (savoir le faisceau vertical), comme représentant bien tous les autres. Quoique la démonstration de Lambert soit plus simple, et par-là même plus claire et plus belle; je crois devoir conserver ici le souvenir de celle que j'ai connue la première, et qui a dirigé mes recherches subséquentes sur le refroidissement de l'hémisphère austral.

THÉORÈME.

La lumière solaire qui parvient à la terre est égale dans toute partie égale de l'écliptique, parcourue ou non en tems égal.

DÉMONSTRATION.

Soit *AMB* l'orbite elliptique que parcourt le soleil, et dont le centre *P* de la terre occupe un des foyers *. Fig. 2.

Que *QqRQ* représente l'intersection écliptique de l'orbe et du globe terrestre. Et soient menées les droites *PM*, *Pm* infiniment près l'une de l'autre;

---

* *Nota.* Il est indifférent et plus simple de supposer le soleil mobile.

puis du rayon PM soit décrit l'arc circulaire Mn.

Mn est comme $PM \times Qq$.

Mais le tems que le soleil met à parcourir Mm, ou à décrire Qq, est comme l'espace $Mn \times PM$, ou comme $Qq \times \overline{PM}^2$; c'est-à-dire, en raison directe de Qq et du carré de la distance PM.

Par conséquent la quantité de lumière reçue par Qq, qui est directement comme le tems et inversement comme le carré de la distance, est proportionnelle à Qq.

Elle sera donc égale dans toute partie égale de l'écliptique, parcourue ou non en tems égal.

NOTE H, §. 284, p. 335.

Quelques détails de calcul.

Mr. le professeur Schaub, de qui j'ai déjà emprunté les lumières (p. 431), me fournit la note suivante, relative à quelques-unes des propositions contenues dans cet ouvrage, auxquelles il lui a paru que le calcul pouvoit être utilement appliqué.

On trouve pour un rayonnement continu des formules dans lesquelles on peut réduire aisément celles des §§. 45 et 46.

1.° Soit x la chaleur perdue par le premier corps et acquise par le second dans le tems t.

On a $dx = \frac{1}{p}(a - 2x)\,dt$

d'où l'on tire

$$x = \tfrac{1}{2}a\left(1 - e^{-\frac{2t}{p}}\right)$$

$$a - x = \tfrac{1}{2}a\left(1 + e^{-\frac{2t}{p}}\right)$$

e étant la base des logarithmes népériens.

2.° Soient x la chaleur du premier corps et y celle du second à la fin du tems t. On a

$-dx = \frac{1}{p}(x - \frac{1}{q}y)\,dt$, $dy = \frac{1}{p}(\frac{1}{q}x - y)\,dt$;

d'où l'on tire

$$x = \tfrac{1}{2}\alpha\left(e^{-(\frac{1}{p}+\frac{1}{pq})t} + e^{-(\frac{1}{p}-\frac{1}{pq})t}\right)$$

$$y = \tfrac{1}{2}\alpha\left(e^{-(\frac{1}{p}-\frac{1}{pq})t} - e^{-(\frac{1}{p}+\frac{1}{pq})t}\right)$$

Les formules des §§. 45, 46, se réduisent à celles-ci, en faisant n infini dans le développement de leurs termes; en effet $(1-z)^n = e^{-nz}$ lorsque n est infini.

Sur le §. 281.

Soient α, α', les quantités de chaleur fournies dans un instant par les deux sources; n, n', les durées de ces sources. $\frac{1}{p}$ l'aliquote de chaleur que le rayonnement fait perdre dans un instant, $\pi = 1-\frac{1}{p}$. La quantité de chaleur acquise par le premier corps pendant le tems n sera

$$\alpha\left(1+\pi+\pi^2+\cdots+\pi^{n-1}\right) = \alpha\left(\frac{1-\pi^n}{1-\pi}\right) \quad (1)$$

On aura de même pour le second corps $\alpha'\left(\frac{1-\pi^{n'}}{1-\pi}\right)$. Soit $n' = n+\nu$; on a par une condition du problème $n\alpha = (n+\nu)\alpha'$; la quantité de chaleur acquise par le second corps sera donc $\frac{n\alpha}{n+\nu}\left(\frac{1-\pi^{n+\nu}}{1-\pi}\right)$. A la fin du tems ν il restera au premier corps la chaleur $\pi^\nu\alpha\left(\frac{1-\pi^n}{1-\pi}\right)$ (2); il s'agit donc de démontrer que

$\pi^{\nu}\left(1-\pi^{n}\right) < \frac{n}{n+\nu}\left(1-\pi^{n+\nu}\right)$,

ou $\nu\pi^{\nu}\left(1-\pi^{n}\right) < n\left(1-\pi^{\nu}\right)$; n et ν étant > 1 et $\pi < 1$. Mr. Lhuilier démontre ainsi cette inégalité ; si l'on pouvoit avoir

$\nu\pi^{\nu}\left(1-\pi^{n}\right) > n\left(1-\pi^{\nu}\right)$, substituant n à ν et ν à n, on auroit par la même raison $n\pi^{n}\left(1-\pi^{\nu}\right) > \nu\left(1-\pi^{n}\right)$; donc en multipliant membres par membres $n\nu\pi^{n+\nu} > n\nu$, ce qui est absurde.

On peut encore déterminer de la manière suivante la chaleur que chacun de ces corps acquiert dans le tems t. Soit x la chaleur acquise par le premier à la fin du tems t, on a l'équation, $dx = (\alpha - \frac{1}{p}x)\,dt$ (3). Ce qui donne $x = p\alpha\left(1-e^{-\frac{t}{p}}\right)$ (4). Si la source ne fournit plus de chaleur après le tems t, on trouve ce que x devient après le tems t', en faisant $-dx = \frac{1}{p}x\,dt'$, d'où l'on tire $x = p\alpha e^{-\frac{t'}{p}}\left(1-e^{-\frac{t}{p}}\right)$ (5).

Les formules (1) et (2) se réduisent aux précédentes (4) et (5) en développant $\left(1-\frac{1}{p}\right)^{n}$, $\left(1-\frac{1}{p}\right)^{m}$ et en faisant n et ν infinis.

On détermine aussi par l'équation (3) le mouvement d'un corps soumis à une force accélératrice constante qui lui fait parcourir une ligne droite dans un milieu d'une densité uniforme, résistant en raison directe de la vitesse. C'est le problème que Newton résout dans le livre 2.^d^ des *Principes*, prop. 3.^e^

Sur le §. 282.

Pour faire servir l'équation (3) à la solution du problème §. 282, il faut supposer α variable. Les développemens du calcul et son application à la chaleur du soleil et de la terre, trop longs pour entrer dans une note, pourront être le sujet d'un mémoire particulier.

Fin des notes.

TABLE DES MATIÈRES

Contenues dans cet ouvrage.

AVERTISSEMENT, page v

INTRODUCTION.

CHAP. I. Que le calorique rayonne, 1

CHAP. II. Que la chaleur se propage de deux manières, 4

CHAP. III. Des différens états du calorique, 5

CHAP. IV. Questions relatives à la nature du calorique, 6

CHAP. V. Remarque historique, 13

SECTION I. EXPOSITION DE LA THÉORIE DE L'ÉQUILIBRE MOBILE.

CHAP. I. Constitution du calorique, 18

CHAP. II. Remarques sur les explications déduites de cette constitution, 20

CHAP. III. État du calorique à la surface des corps, 22

CHAP. IV. De l'équilibre du calorique rayonnant, 28

CHAP. V. De la rupture et du rétablissement de l'équilibre mobile, 30

CHAP. VI. Extension des définitions précédentes, 32

SECTION II. DES LOIS DE LA CHALEUR CROISSANTE ET DÉCROISSANTE.
CHAP. I. Des lois de la chaleur entrante, page 35
CHAP. II. Des lois de la chaleur sortante, 39
CHAP. III. Des lois de l'échauffement et du refroidissement, 41
CHAP. IV. Suite, 49
SECTION III. DE LA TRANSMISSION ET DE L'INTERCEPTION DE LA CHALEUR, OBSERVÉES DANS LE CAS DE L'ÉCHAUFFEMENT SEULEMENT, 56
CHAP. I. Premières tentatives pour estimer la transmission du calorique à travers des écrans de diverses sortes, 57
CHAP. II. Tentatives ultérieures, 62
CHAP. III. Discussion des expériences précédentes, 66
CHAP. IV. Suite, 80
SECTION IV. DE LA RÉFLEXION DU CALORIQUE.
CHAP. I. Échauffement produit avec l'appareil des deux miroirs concaves conjugués, 87
CHAP. II. Refroidissement produit avec le même appareil, 89
CHAP. III. Explication de ce double phénomène, 91
CHAP. IV. Remarque sur d'autres expériences relatives à la réflexion du calorique, 94
SECTION V. DE L'EFFET D'UNE SURFACE RÉFLÉCHISSANTE, POUR CHANGER LA TEMPÉRATURE DES CORPS SOUMIS A SON INFLUENCE.
CHAP. I. Quelques détails de théorie sur la réflexion du calorique, et occasionnellement sur la réfraction, 95
CHAP. II. Expériences à ce sujet, 101

SECTION VI. DE L'EFFET DIFFÉRENT DES DIFFÉRENTES SURFACES POUR TRANSMETTRE LA CHALEUR A QUELQUE DISTANCE, ET POUR HATER OU RALENTIR L'ÉCHAUFFEMENT ET LE REFROIDISSEMENT DES CORPS QUE CES SURFACES TERMINENT, p. 111

CHAP. I. Quelques détails ultérieurs sur la réflexion du calorique considérée théoriquement, 112

CHAP. II. Expériences sur le tems qu'emploient, pour changer de température, des corps terminés par des surfaces de diverse nature, 118

CHAP. III. Application de la théorie à ces expériences, 122

CHAP. IV. Expériences sur l'influence des surfaces de diverse nature, dans les changemens de température qu'opèrent à une certaine distance, des corps terminés par ces surfaces, 124

CHAP. V. Application de la théorie à ces expériences, 126

CHAP. VI. Expérience de même genre, que son auteur a jugée inexplicable dans les principes de l'équilibre mobile, 127

CHAP. VII. Application de la théorie à cette expérience, ibid.

CHAP. VIII. Remarques sur l'état du calorique dans les corps réflecteurs et non-réflecteurs, 131

SECTION VII. APPLICATION DE LA THÉORIE DU CALORIQUE RAYONNANT AUX EXPÉRIENCES DE Mr. LESLIE, SUR LA NATURE ET LA PROPAGATION DE LA CHALEUR, p. 133

CHAP. I. Description des appareils employés pour ces expériences, 134

CHAP. II. Manière d'expérimenter ; éclaircissemens et résultats généraux, nécessaires pour l'intelligence des expériences suivantes, 146

CHAP. III. Expériences sur la quantité de chaleur rayonnante émise ou reçue par différentes surfaces, 151

CHAP. IV. Sur la chaleur interceptée et transmise, 165

CHAP. V. De la loi relative aux distances et aux inclinaisons, 191

CHAP. VI. Sur la loi du refroidissement et de l'échauffement, 223

SECTION VIII. APPLICATION DE LA THÉORIE A QUELQUES EXPÉRIENCES RELATIVES A L'EAU QUE L'AIR DÉPOSE SUR CERTAINS CORPS, 233 *au lieu de* 333

CHAP. I. Extrait détaillé des expériences, 234

CHAP. II. Résumé de ces expériences, 242

CHAP. III. Principe général duquel ces phénomènes paroissent dépendre, 245

CHAP. IV. Application générale de ce principe, 246

CHAP. V. Quelques détails, 249

CHAP. VI. Quelques remarques, 255

SECTION IX. RÉSUMÉ DES PRINCIPES EXPOSÉS CI-DESSUS, ET DES PRINCIPALES CONSÉQUENCES QUI EN ONT ÉTÉ DÉDUITES, page 258

AVERTISSEMENT relatif aux sections suivantes, 263

SECTION X. DE LA CHALEUR SOLAIRE ET DE LA CHALEUR PROPRE DE LA TERRE.

CHAP. I. De la chaleur solaire comparée à la chaleur propre de la terre, à sa surface, et au lieu de l'observation, 265

CHAP. II. De la chaleur solaire comparée avec elle-même en été et en hiver, par voie d'observation; 271

CHAP. III. De la chaleur solaire comparée avec elle-même, en été et en hiver, par voie de calcul, 281

CHAP. IV. Comparaison des résultats de l'observation et du calcul, 288

CHAP. V. De la chaleur solaire d'été en différens climats, 293

CHAP. VI. De la chaleur moyenne en différens climats, 296

CHAP. VII. De l'échauffement du globe terrestre, 298

CHAP. VIII. Du refroidissement du globe terrestre, 302

CHAP. IX. De l'échauffement et du refroidissement du globe terrestre, envisagés dans leurs effets combinés, 306

SECTION XI. De la chaleur relative aux deux hémisphères de chaque hémisphère, et du froid absolu.

CHAP. I. De l'effet de la distance du soleil sur les deux hémisphères de la terre, p. 317

CHAP. II. De l'effet de la durée des saisons froides et chaudes sur la chaleur relative des deux hémisphères de la terre, 321

CHAP. III. De l'effet combiné du temps et de la distance sur la quantité de l'irradiation solaire, 325

CHAP. IV. De la chaleur relative constante des deux hémisphères terrestres, envisagés comme séparés, 328

CHAP. V. Effet de la réunion des deux hémisphères, 341

CHAP. VI. De l'inégalité périodique de température relative des deux hémisphères, ou de la température relative des saisons dans chaque hémisphère, 344

CHAP. VII. De la chaleur relative des deux hémisphères, modifiée par une considération chimique, 346

CHAP. VIII. De la chaleur relative des deux hémisphères, modifiée par une considération géographique, 349

CHAP. IX. Suite, 356

CHAP. X. Résumé des causes qui doivent influer sur la tempé-

SECTION XI. *(Suite de la*

rature relative des deux hémisphères de la terre, page 367

CHAP. XI. De la chaleur relative des deux hémisphères donnée par l'observation, 369

CHAP. XII. Suite, 377

SECTION XII. REMARQUES MÉTÉOROLOGIQUES.

CHAP. I. Effet des nuages sur la température de l'air près du sol, 382

CHAP. II. Suite, 387

CHAP. III. Époque de l'année à laquelle cette observation est le plus applicable, 390

CHAP. IV. Rapport de cette observation au climat, 393

CHAP. V. Sur la limite des alisés, 398

SECTION XIII. REMARQUES DÉTACHÉES.

CHAP. I. Remarque sur l'expansibilité du calorique, 405

CHAP. II. Sur la cause réfrigérante qu'on observe dans les animaux, 407

CHAP. III. Sur les glacières naturelles, 409

NOTES, 425

Fin de la Table.

ERRATA.

Page 32, au titre du CHAPITRE IV,
à nature lisez *à la nature.*
186, ligne 5. de 21 degrés *lisez* $18\frac{2}{5}$ degrés
Page 405, *expensibilité* lisez *expansibilité*
412, ligne 6 et p. 413, l. 1, *effacez les guillemets.*

Page 406. *Note omise.*

Je rapporte cette opinion, sans la discuter. Le fait mérite attention, la cause est obscure. Y auroit-il ici, par la secousse, un dégagement de ce calorique de saturation, dont je parle à la note C (p. 433) ?

Errata pour l'ouvrage intitulé Du Calorique rayonnant.

(*Nota.* Les lecteurs de cet ouvrage sont instamment priés de faire usage de cet *Errata.*)

Page 42, ligne 21. ne reçoit d'elle, *lisez* ne lui rend

50 7. Ces suites——quantité près.

lisez

En sorte que le corps finira toujours par atteindre la température de la source à une très-petite quantité près.

Page 53, ligne antépénultième. $+\left[\frac{p-1}{p}+-\frac{1}{pq}\right]^n$

lisez $+\left[\frac{p-1}{p}-\frac{1}{pq}\right]^n$

Ibid., ligne dernière. $\frac{a}{2}\left(\left[\frac{p-1}{p}+\frac{1}{pq}\right]-\text{etc.}\right.$

lisez $\frac{a}{2}\left(\left[\frac{p-1}{p}+\frac{1}{pq}\right]^n-\text{etc.}\right.$

Page 73, ligne 2. différer des précédens *lisez* différer de celle des précédens.

74 5. moindre *lisez* plus grande

192 1. à la distance *lisez* au carré de la distance

199, ligne avant-dern., g (le grossier) *lisez* 1 (le grossier)

200, ligne 2. $\frac{1}{t}$ *lisez* $\frac{g}{t}$

202 1. $g=29$; *effacez cela.*

$s=3$ *lisez* $s=\frac{s}{52}$

Ibid., l. 11, 15, 19, 22, 25. Aux exemples 2.d, 3.e, 4.e, 5.e et 6.e, *effacez toutes les valeurs de* g; *savoir, effacez* $g=\frac{8}{9}$, $g=\frac{41}{45}$, $g=\frac{8}{9}$, $g=\frac{10}{11}$, $g=\frac{11}{12}$.

Nota. *Le résultat de ces dernières corrections, depuis la page* 199 *est ceci.*

Soient les deux caloriques 1 (le grossier), s (le subtil). Après avoir traversé une couche d'air

d'épaisseur donnée, soit transmise la partie $\frac{g}{t}$ du calorique grossier; la transmission totale, et par conséquent l'effet, sera donc $\frac{g}{t} + s$; et après deux couches pareilles $\left(\frac{g}{t}\right)^2 + s$; et après trois couches $\left(\frac{g}{t}\right)^3 + s$; etc.

(*Sans autre changement, jusqu'à la fin de la page* 201.)

Et à la page 202.

1.er *Exemple.* Soit $s = \frac{5}{53}$, $\frac{g}{t} = \frac{5}{8}$. etc.

2.d *Exemple.* Soit $s = \frac{1}{9}$, $\frac{g}{t} = \frac{1}{5}$. etc.

3.e *Exemple.* Soit $s = \frac{4}{45}$, $\frac{g}{t} = \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{4}{9}$ à peu près. etc.

4.e *Exemple.* Soit $s = \frac{1}{9}$, $\frac{g}{t} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{4}{7}$ à peu près. etc.

5.e *Exemple.* Soit $s = \frac{1}{11}$, $\frac{g}{t} = \frac{5}{11}$. etc.

6.e *Exemple.* Soit $s = \frac{1}{12}$, $\frac{g}{t} = \frac{1}{2}$. etc.

Page 203, ligne 18. par très-satisfait *lisez* pas très-satisfait

295 7. une nuit d'un mois. *lisez* une nuit de vingt-quatre heures, précédée et suivie d'une suite de nuits, qu'interrompt à peine le jour produit par un soleil peu élevé.

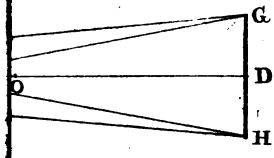
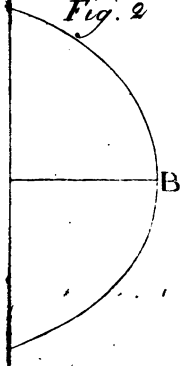


Fig. 2



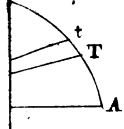
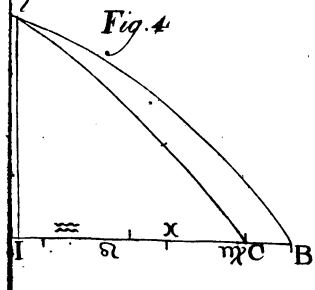
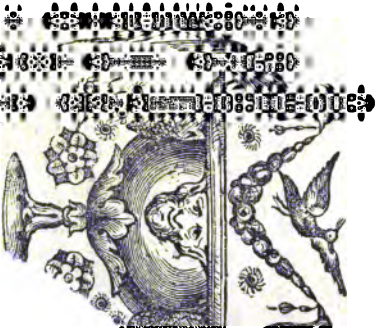
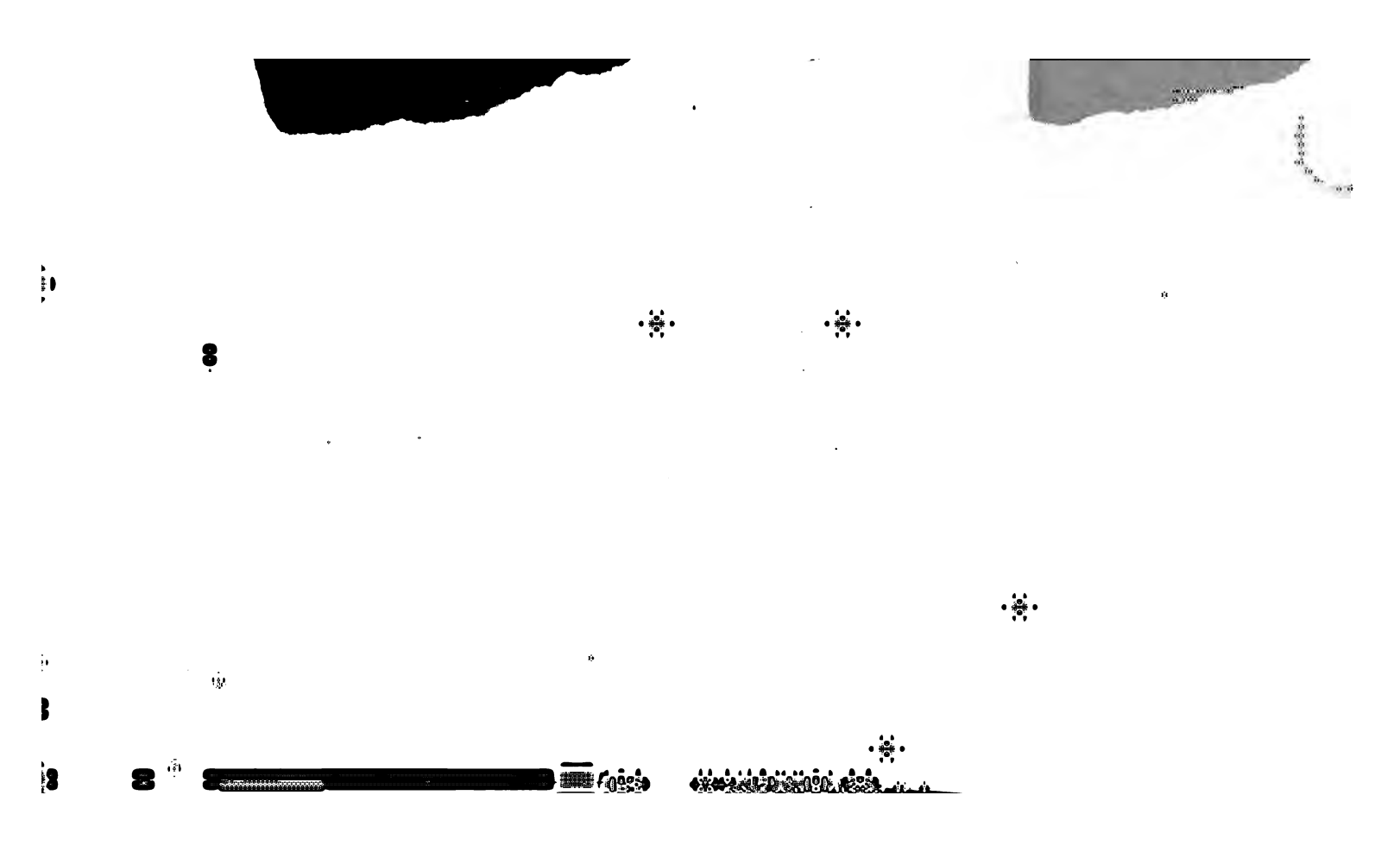



Fig. 4